

**STRATÉGIE ET
PLAN D'ACTION
POUR L'ADAPTATION AUX
EFFETS DU CHANGEMENT
CLIMATIQUE AU LUXEMBOURG
2018-2023**



LE GOUVERNEMENT
DU GRAND-DUCHÉ DE LUXEMBOURG

VISIT...

LANZAROTE
Caliente.COM



LE GOUVERNEMENT
DU GRAND-DUCHÉ DE LUXEMBOURG
Ministère de l'Environnement, du Climat
et du Développement durable

SOMMAIRE

RÉSUMÉ	5
1. INTRODUCTION	9
1.1. Adaptation au changement climatique au sein de l'Union européenne.....	9
1.2. Adaptation au changement climatique au Luxembourg	10
2. RÉPERCUSSIONS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LE GRAND-DUCHÉ DE LUXEMBOURG	11
2.1. Évolution rétrospective et prospective du climat.....	11
2.2. Répercussions du changement climatique sur l'environnement naturel.....	28
3. MÉTHODE SUIVIE POUR L'ÉTABLISSEMENT DE LA STRATÉGIE	53
3.1. Recherche bibliographique	53
3.2. Établissement de la matrice à 9 champs sur les impacts climatiques	54
3.3. Recensement de mesures existantes.....	54
3.4. Définition de nouvelles mesures.....	54
4. IMPACTS CLIMATIQUES DANS LES SECTEURS, PRIORISATION, RECOMMANDATIONS D'ACTION DÉRIVÉES	55
4.1. Construction et logement	55
4.2. Énergie.....	57
4.3. Sylviculture	58
4.4. Infrastructures.....	61
4.5. Gestion des crises et des accidents majeurs.....	63
4.6. Aménagement du territoire	65
4.7. Agriculture, y compris santé des végétaux et des animaux	67
4.8. Santé humaine	70
4.9. Écosystèmes et biodiversité.....	73
4.10. Tourisme.....	75
4.11. Espaces urbains	77
4.12. Régime hydrologique et gestion de l'eau	79
4.13. Activité économique	81

5. MESURES EN PLACE ET MESURES FUTURES.....	83
5.1. Construction et logement	83
5.2. Énergie.....	86
5.3. Sylviculture	89
5.4. Infrastructures.....	93
5.5. Gestion des crises et des accidents majeurs.....	95
5.6. Aménagement du territoire	100
5.7. Agriculture, y compris santé des végétaux et des animaux.....	103
5.8. Santé humaine :	109
5.9. Ecosystèmes et biodiversité.....	115
5.10. Tourisme.....	118
5.11. Espaces urbains	119
5.12. Régime hydrologique et gestion de l'eau	121
5.13. Economie.....	128
5.14. Mesures intersectorielles.....	131
6. INTERFACES ENTRE LES SECTEURS DANS LE CADRE DE L'ADAPTATION AU CHANGEMENT CLIMATIQUE	133
7. LIENS AVEC D'AUTRES STRATÉGIES	146
7.1. Plan National pour un Développement Durable.....	146
7.2. Deuxième Plan d'Action National pour la Protection du Climat	148
7.3. Programme de mesures « gestion des inondations »	149
7.4. Plan de gestion du bassin hydrographique.....	151
7.5. Deuxième Plan National concernant la Protection de la Nature	152
8. MISE EN ŒUVRE ET SUITES À DONNER.....	153
9. GLOSSAIRE	154
10. INDEX DES TABLEAUX.....	157
11. INDEX DES FIGURES	158
12. BIBLIOGRAPHIE.....	160

RÉSUMÉ

Le changement climatique planétaire touche également le Grand-Duché de Luxembourg ; ses effets sont mesurables et se font déjà nettement ressentir. Ainsi, la température moyenne s'élève déjà à 9,3 °C au Luxembourg sur la période comprise entre 1981 et 2010, c'est-à-dire en hausse de 1 °C par rapport à la période allant de 1961 à 1990 (en comparaison : la hausse globale de température n'est que de 0,85 °C depuis 1880). Seize des dix-sept années les plus chaudes mesurées depuis le début des relevés systématiques se trouvent dans le 21^e siècle. Les projections climatiques réalisées pour le Luxembourg mettent aussi en évidence pour le futur une poursuite des hausses des températures de l'air dues en premier lieu à l'augmentation des températures minimales pendant les mois d'hiver.

Les précipitations mesurées pendant la période de référence 1961-1990 s'élèvent à 875 mm en moyenne, celles de la période comprise entre 1981 et 2010 à 897 mm. Selon les projections climatiques, il faut donc compter à l'avenir avec une baisse des précipitations pendant les mois d'été et une hausse des précipitations hivernales. Reliées à des températures de l'air plus élevées pendant les mois d'hiver, ces évolutions font baisser la probabilité de chute de neige et augmenter simultanément le risque d'inondation.

Afin de limiter les conséquences négatives de ces modifications climatiques pour la population et pour l'espace économique et naturel, et pour tirer profit des opportunités offertes, le Ministère de l'Environnement, du Climat et du Développement durable a mandaté l'établissement d'une stratégie d'adaptation au changement climatique pour le Grand-Duché de Luxembourg.

Pour les secteurs énumérés ci-après, la stratégie mise au point identifie les impacts climatiques et les priorise en fonction de leur importance pour le Luxembourg et de leur effet (faible, moyen, grand) sur l'évolution du climat :

- Construction et logement
- Énergie
- Sylviculture
- Infrastructures
- Gestion des crises et des accidents majeurs
- Aménagement du territoire
- Agriculture, y compris santé des végétaux et des animaux
- Santé humaine
- Écosystèmes et biodiversité
- Tourisme
- Espaces urbains
- Régime hydrologique et gestion de l'eau

- Economie.

L'évaluation des impacts du changement climatique se fonde sur l'état actuel des connaissances scientifiques et a été réalisée en coopération avec le Luxembourg Institute of Science and Technology (LIST). On trouvera dans le *Tableau 1* les principaux impacts du climat sur le Luxembourg listés secteur par secteur.

Il est possible à l'avenir que des connaissances plus approfondies sur les mécanismes systémiques du climat, des projections climatiques plus régionalisées et des chroniques d'observations prolongées amènent à modifier les conditions générales ayant donné lieu à cette priorisation. Cette dernière doit donc être soumise à un contrôle régulier.

Tableau 1 : Impacts climatiques prioritaires pour le Luxembourg

Secteur	Impact climatique
Construction et logement	• Répercussions plus intenses des événements extrêmes • Températures plus élevées en été (climat intérieur des bâtiments)
Énergie	• Augmentation des impacts d'événements extrêmes • Modification de la demande en électricité • Production de biomasse plus élevée
Sylviculture	• Augmentation des organismes nuisibles indigènes • Espèces exotiques envahissantes • Modification de la composition des espèces (d'arbres) • Accélération des processus de transformation (dans les sols)
Infrastructures	• Perturbation des infrastructures sous l'effet de la chaleur • Modification des risques naturels potentiels
Gestion des crises et des accidents majeurs	• Apparition d'événements non dimensionnés jusqu'à présent • Augmentation des dommages primaires et secondaires imputables aux risques naturels/effets amplifiés d'événements extrêmes • Approvisionnement en eau potable et évacuation des eaux usées menacés
Aménagement du territoire	• Aggravation de conflits d'intérêt sur l'emprise des sols • Pression croissante sur les espaces libres • Modification des zones vulnérables
Agriculture, y compris santé des végétaux et des animaux	• Espèces exotiques envahissantes • Augmentation des événements météorologiques extrêmes/ pluies intenses locales • Augmentation des organismes nuisibles indigènes • Prolongation de la période végétative • Altération de la fertilité du sol, de sa structure et de sa stabilité, érosion du sol
Santé humaine	• Qualité des eaux menacée • Augmentation des organismes allergènes • Hausse du stress thermique • Augmentation des pressions des substances nuisibles (ozone, poussières fines)
Écosystèmes et biodiversité	• Modification de la composition des espèces • Modification de la phénologie / du comportement de reproduction • Espèces exotiques envahissantes • Habitats humides menacés
Tourisme	• Augmentation des événements météorologiques extrêmes

Espaces urbains	• Apparition plus fréquente d'ondes de chaleur • Augmentation des événements météorologiques extrêmes
Régime hydrologique et gestion de l'eau	• Sécurité de l'approvisionnement en eau potable menacée (avec prise en compte des aspects phytosanitaires) • Augmentation des précipitations intenses locales/événements extrêmes et des dommages imputables aux inondations • Augmentation des périodes de sécheresse • Hausse des températures de l'eau • Sécurité de l'évacuation des eaux menacée
Économie	• Baisse de capacité de travail et d'efficacité due au stress thermique • Augmentation des événements extrêmes (secteur des assurances) • Apparition plus fréquente d'ondes de chaleur (Data Center) • Actifs dépréciés dans le secteur des énergies fossiles

Des mesures ont été mises au point pour chaque secteur à partir des impacts climatiques affichés dans le *Tableau 1*. Il est présenté une liste de tous les titres des mesures dans le *Tableau 2*.

Tableau 2 : Liste des mesures d'adaptation au changement climatique

Secteur	Mesures
Construction et logement	BW01 : Adapter les normes de construction aux conditions climatiques plus critiques et aux modifications annoncées par les projections BW02 : Élaborer un guide sur la « construction adaptée au changement climatique »
Énergie	E01 : Vérifier et adapter les infrastructures d'énergie existantes quant à leur vulnérabilité aux événements extrêmes E02 : Prendre des mesures de sensibilisation à l'économie d'énergie et au déploiement de l'énergie solaire décentralisée et d'autres sources d'énergie non utilisées E03 : Développer des centrales biomasse en tenant compte des aspects de durabilité
Sylviculture	F01 : Dresser une cartographie complète des biotopes forestiers et élaborer un catalogue de mesures pour une sylviculture viable dans le contexte d'un climat en mutation F02 : Convertir les monocultures en forêts mixtes F03 : Préserver, améliorer ou restaurer les fonctions du sol forestier, notamment celles de réservoir d'eau et de carbone et de fournisseur de nutriments
Infrastructures	I01 : Identifier les infrastructures critiques et initier des mesures de réduction de la vulnérabilité I02 : Prendre en compte le changement climatique dans la conception de nouvelles infrastructures
Gestion des crises et des accidents majeurs	K01 : Faire évoluer les services d'urgence et la direction des interventions pour les adapter aux conditions climatiques changeantes K02 : Réaliser un suivi en continu des processus et événements de risques naturels et continuer à développer et à améliorer les méthodes et techniques d'identification de nouveaux processus naturels dangereux K03 : Prendre en compte le changement climatique dans la conception des systèmes d'évacuation des eaux pluviales/usées et de distribution de l'eau potable K04 : Engager des mesures de protection robustes et adaptables
Aménagement du territoire	LP01 : « Climate proofing » de l'aménagement du territoire : Planifier sous forme intégrée et ajuster de manière renforcée les plans nationaux, communaux et sectoriels en tenant compte du changement climatique

	LP02 : Établir des plans des zones à risque et élaborer des cartes de vulnérabilité LP03 : Promouvoir les modes de planification et de construction efficaces sur le plan climatique et conseiller les acteurs
Agriculture, y compris santé des végétaux et des animaux	L01 : Étendre le suivi d'espèces exotiques envahissantes et élaborer des lignes directrices pour les éradiquer et/ou des activités préventives ; optimiser la coopération entre les administrations concernées L02 : Intensifier les activités de recherche eu égard aux événements météorologiques extrêmes et identifier les implications en résultant pour les différents secteurs agricoles L03 : Établir des scénarios sur la présence d'organismes nuisibles afin de planifier des mesures de protection végétale et animale et de recherche de solutions alternatives susceptibles d'abaisser la pression de ces nuisibles ; développer de nouvelles stratégies de lutte (régulation intégrée des organismes nuisibles) L04 : Tester des options pour étendre l'assolement et/ou le choix des variétés eu égard à la prolongation de la période végétative L05 : Recenser, faire le suivi et cartographier le potentiel de pâturage (qualité et quantité) L06 : Encourager les mesures de protection du sol L07 : Adopter des modes d'élevage et de production animale résilients au climat
Santé humaine	MG01 : Mettre en place un suivi et un système d'avertissement pour l'eau potable et élaborer un catalogue de mesures de protection de l'eau potable contre les impacts du changement climatique MG02 : Limiter l'exposition de la population aux substances allergènes / aux pollens allergisants MG03 : Gérer les ondes de chaleur prolongées dans les services de santé, de soins et des affaires sociales MG04 : Prévoir et gérer la pollution surélevée par l'ozone et les poussières fines
Écosystèmes et biodiversité	ÖB01 : Prendre des mesures ciblées de soutien aux espèces menacées, notamment sur les surfaces pouvant s'avérer climatiquement appropriées ÖB02 : Prendre en considération le changement climatique dans les schémas de protection de la nature et les plans de gestion ÖB03 : Assurer le suivi, le contrôle et l'éradication d'espèces exotiques envahissantes
Tourisme	T01 : Informer les touristes sur les événements météorologiques extrêmes
Espaces urbains	UR01 : Élaborer un schéma intégré d'aménagement urbain pour la prise de mesures d'urbanisme visant à réduire les ondes de chaleur UR02 : Vérifier les infrastructures urbaines eu égard à l'augmentation des événements météorologiques extrêmes et élaborer des schémas d'adaptation des constructions
Régime hydrologique et gestion de l'eau	WW01 : Prendre en compte les événements pluvieux intenses dans le deuxième Plan de gestion des risques d'inondation WW02 : Mesures visant à abaisser la température de l'eau WW03 : Protéger les ressources actuelles et futures d'eau potable WW04 : Adapter le traitement des eaux usées et utiliser efficacement les eaux usées
Économie	W01 : Prendre des mesures constructives pour réduire la pression thermique dans les bâtiments d'exploitation (constructions nouvelles/rénovations) W02 : Adapter les services d'assurance W03 : Mettre au point une analyse des risques portant sur l'apparition et les répercussions d'événements extrêmes sur le Data Center et établir un plan de mesures W04 : Évaluer l'analyse des risques économiques découlant des impacts du changement climatique

1. INTRODUCTION

Dans le cadre de la 21^e Conférence de l'ONU sur le climat tenue à Paris (COP21), les Parties contractantes ont convenu, pour la première fois depuis le Protocole de Kyoto, des objectifs concrets et communs. Il est ainsi fixé dans l'Accord de Paris sur la protection du climat l'objectif général de limiter le réchauffement de la planète nettement en dessous de 2 °C et de s'efforcer de restreindre ce réchauffement à 1,5 °C (art. 2.1a, CCNUCC, 2015). À long terme, les émissions de gaz à effet de serre doivent atteindre leur plafond (« peaking ») dans les meilleurs délais et baisser rapidement par la suite, de façon que l'on parvienne à un équilibre entre les émissions de gaz à effet de serre et le piégeage du carbone (p. ex. dans les forêts) dans le courant de la seconde moitié du siècle, ce qui correspond à un niveau 'zéro émission' net après 2050 (art. 4.1, CCNUCC, 2015). En lien avec l'objectif de température, l'Accord de Paris thématise la question de l'adaptation au changement climatique, qui permettra de renforcer les capacités d'adaptation, d'accroître la résilience et de réduire la vulnérabilité à ce changement. L'article 7 (CCNUCC, 2015) engage les États à lancer un processus d'adaptation et à soumettre des rapports qu'ils sont tenus d'actualiser à intervalles réguliers.

Sur la base de l'Accord de Paris, il a été convenu dans le cadre de la COP22 tenue à Marrakech de dresser d'ici 2018 pour l'Accord de la COP21 un recueil de règles (« Rulebook ») qui devra être adopté dans le cadre de la COP24 à Katowice. Ce recueil de règles confirmera l'Accord de Paris, donnera une forme concrète à sa mise en œuvre et soulignera l'urgence de cette mise en œuvre.

1.1. Adaptation au changement climatique au sein de l'Union européenne

La Commission européenne a présenté le 16 avril 2013 la Stratégie de l'UE relative à l'adaptation au changement climatique (EC, 2013). Cette stratégie met l'accent sur trois objectifs :

- Encourager et soutenir les activités d'adaptation dans les États membres de l'UE,
- Prendre en compte le changement climatique dans les secteurs clés au niveau de l'UE et
- Aider à une prise de décision éclairée et mieux orientée dans la mise en œuvre des mesures.

À propos de la mise en œuvre du deuxième point, la Commission européenne a publié avec sa stratégie d'adaptation une série de guides et de programmes d'action¹ susceptibles d'aider les États membres à prendre en compte des mesures d'adaptation dans leur planification. La stratégie de l'UE est actuellement évaluée et il en est vérifié la pertinence, l'efficacité, l'efficience, la cohérence et la plus-value qu'elle apporte à l'UE.

20 États membres ont actuellement une stratégie d'adaptation. Comme le montre l'analyse des stratégies d'adaptation existantes, elles sont entre elles très différentes dans leur conception ((McCallum et al., 2013). Les pays qui ont mis au point une stratégie ne disposent pas tous des programmes d'action nécessaires ou ne les ont pas adoptés.

1.2. Adaptation au changement climatique au Luxembourg

Le Grand-Duché de Luxembourg, qui est considéré comme le plus grand émetteur de gaz à effet de serre de l'UE avec un total de 19,6 t d'équivalent dioxyde de carbone par habitant et par an (EEA, 2014), a décidé dès 2006 de relever le défi global que représente la protection du climat. Il en a découlé deux *plans d'action 'protection du climat'*, l'un en 2006 et l'autre en 2013 (Le gouvernement du Grand-Duché de Luxembourg, 2006 & 2013). Un troisième plan d'action 'protection du climat' est actuellement en cours d'élaboration.

Avant même la finalisation du 2^e *plan d'action national 'protection du climat'*, deux documents ont été mis au point pour le Luxembourg dans le domaine de l'adaptation au changement climatique :

- a) la « Stratégie nationale d'adaptation au changement climatique » (Ministère du Développement durable et des Infrastructures, 2011a). Elle traite les secteurs de la biodiversité, de l'eau, de la sylviculture et de l'agriculture, et
- b) le rapport « Anpassung an den Klimawandel – Strategien für die Raumplanung » (Ministère du Développement durable et des Infrastructures, 2012). Il est le résultat du projet Interreg IVB NWE « C-Change » qui traite en premier lieu des aspects de vulnérabilité de certains espaces, eu égard aux impacts du changement climatique.

Avec le présent document intitulé *Stratégie et plan d'action pour l'adaptation au changement climatique au Luxembourg*, qui s'ancre sur les deux stratégies susmentionnées, et qui les rassemble et les actualise, le Luxembourg relève le défi du changement climatique à l'échelle nationale et se prépare aux modifications climatiques attendues (voir chapitre 2). La stratégie met en place une démarche réfléchie et prospective de protection contre les conséquences négatives du changement climatique.

¹ Voir à ce sujet : http://ec.europa.eu/clima/policies/adaptation/what/documentation_en.htm

Le document *Stratégie et plan d'action pour l'adaptation au changement climatique au Luxembourg* ordonne dans les catégories 'Biosphère', 'Pédosphère' et 'Hydrosphère' les modifications de températures, de précipitations et d'événements extrêmes, de même que les impacts attendus sur le Grand-Duché (voir chapitres 2.1 et 2.2). Pour les 13 principaux secteurs du Grand-Duché de Luxembourg ont été identifiés les impacts climatiques attendus et susceptibles de jouer un rôle au cours des prochaines décennies en raison des risques qui y sont liés (voir chapitre 4). Des mesures sont à fixer pour les 41 impacts climatiques prioritaires identifiés.

Dans la composition du catalogue de mesures (chapitre 5), on se reporte d'une part aux mesures existantes qui soutiennent l'atteinte des objectifs d'adaptation au changement climatique. D'autre part, 42 nouvelles mesures sont déterminées pour les impacts climatiques prioritaires et affectées aux secteurs. Les mesures sont clairement formulées, l'accent étant mis sur les informations pertinentes devant favoriser leur mise en œuvre.

Les effets du changement climatique particulièrement importants et spécifiquement attendus pour le Grand-Duché de Luxembourg ont été identifiés sur la base de recherches bibliographiques étendues et en concertation avec les experts du LIST (Dr. Jürgen Junk) et les divers ministères concernés.

2. RÉPERCUSSIONS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LE GRAND-DUCHÉ DE LUXEMBOURG

2.1. Évolution rétrospective et prospective du climat

2.1.1. Évolution rétrospective du climat au Grand-Duché de Luxembourg

La description du climat du Luxembourg repose sur les valeurs mesurées de l'unique station officielle de l'*Organisation météorologique mondiale* (OMM) installée au Luxembourg et fournissant actuellement des données à l'OMM. La station de Findel/Aéroport (OMM ID = 06590) se trouve au centre du Luxembourg (49° 37' 33.9"N / 6° 12' 12.5"E) à une altitude de 376 m. Elle est exploitée par *MeteoLux – Climat, Département de l'Administration de la navigation aérienne du Luxembourg*. La station relève tous les paramètres météorologiques importants comme la température de l'air, l'humidité relative, les précipitations, la vitesse et l'orientation du vent, de même que différents paramètres de rayonnement. Pour la plupart des paramètres mesurés, des séries chronologiques continues existent depuis 1947. On se fonde sur les mesures de température de l'air et sur les précipitations enregistrées sur la

période comprise entre janvier 1947 et décembre 2016 pour décrire l'évolution historique du climat du Grand-Duché.

Pour reproduire la répartition géographique des modifications observées, on a évalué par ailleurs certaines parties des séries pluriannuelles de mesure de quatre stations exploitées par le Service de la météorologie de l'*Administration des services techniques de l'agriculture* (ASTA). La station d'Asselborn se trouve dans le nord du pays (50° 5' 49"N / 5° 58' 11"E) à une altitude de 479 m. La station de Clemency se trouve dans la partie sud-ouest du pays (49° 35' 56"N / 5° 52' 30"E) à une altitude de 334 m. Les deux stations de Grevenmacher (49° 40' 51"N / 6° 26' 7"E) et de Remich (49° 32' 43"N / 6° 21' 18"E) sont situées dans la vallée de la Moselle dans l'est du pays à une altitude respective de 190 m et de 207 m.

Les séries chronologiques de température évaluées démarrent en janvier 1976 à Asselborn et en janvier 1979 dans les trois autres stations. Les séries chronologiques de précipitations évaluées démarrent en janvier 1977 à Asselborn et en janvier 1951 dans les trois autres stations.

2.1.1.1. Température

Les températures moyennes annuelles enregistrées de 1947 à 2016 dans la station de Findel sont représentées dans la *Figure 1*. La moyenne pluriannuelle sur la période de référence 1961-1990 est de 8,3 °C (et de 9,3 °C sur la période de référence 1981-2010). La moyenne annuelle la plus basse a été relevée en 1956 avec 7,1 °C et la plus haute en 2014 avec 10,8 °C. On note une nette augmentation des températures moyennes annuelles à partir de 1990 environ. Cette évolution ressort également de la hausse de la température moyenne pluriannuelle de la période de référence 1961-1990 par rapport à celle de la période de référence 1981-2010, qui passe de 8,3 °C à 9,3 °C. L'écart entre les deux séries chronologiques de 30 ans de ces deux périodes de référence est statistiquement significatif ($P = < 0,001$).

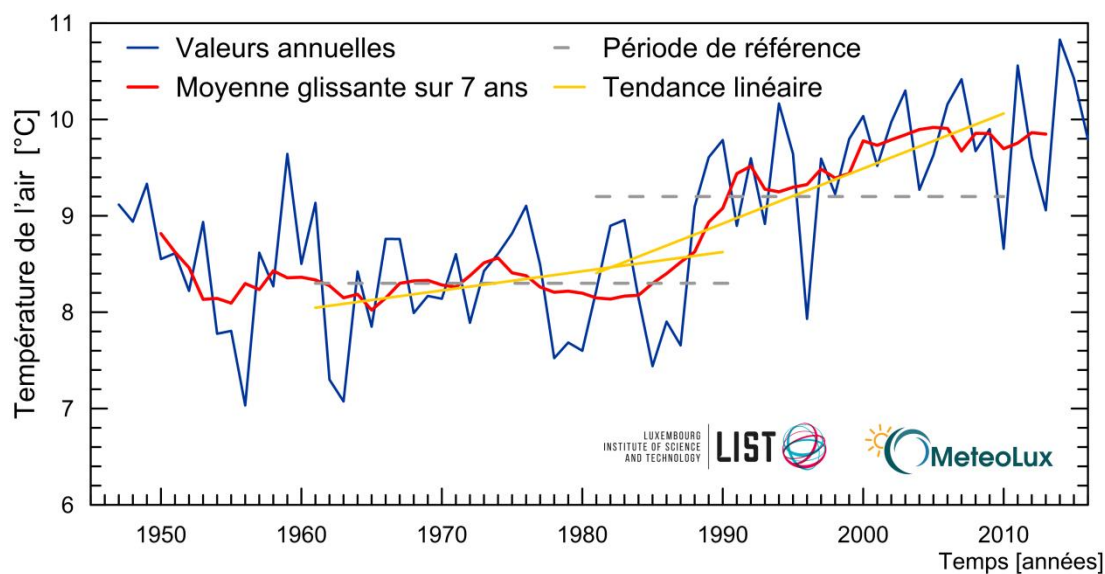


Figure 1 : Moyennes annuelles de la température de l'air dans la station de Findel (ligne bleue), moyenne mobile sur 7 ans (ligne rouge) et sur les deux périodes de référence 1961-1990 (8,3 °C) et 1981-2010 (9,3 °C) ; période d'évaluation : de 01/1947 à 12/2016. Source : non publiée, données brutes de MeteoLux

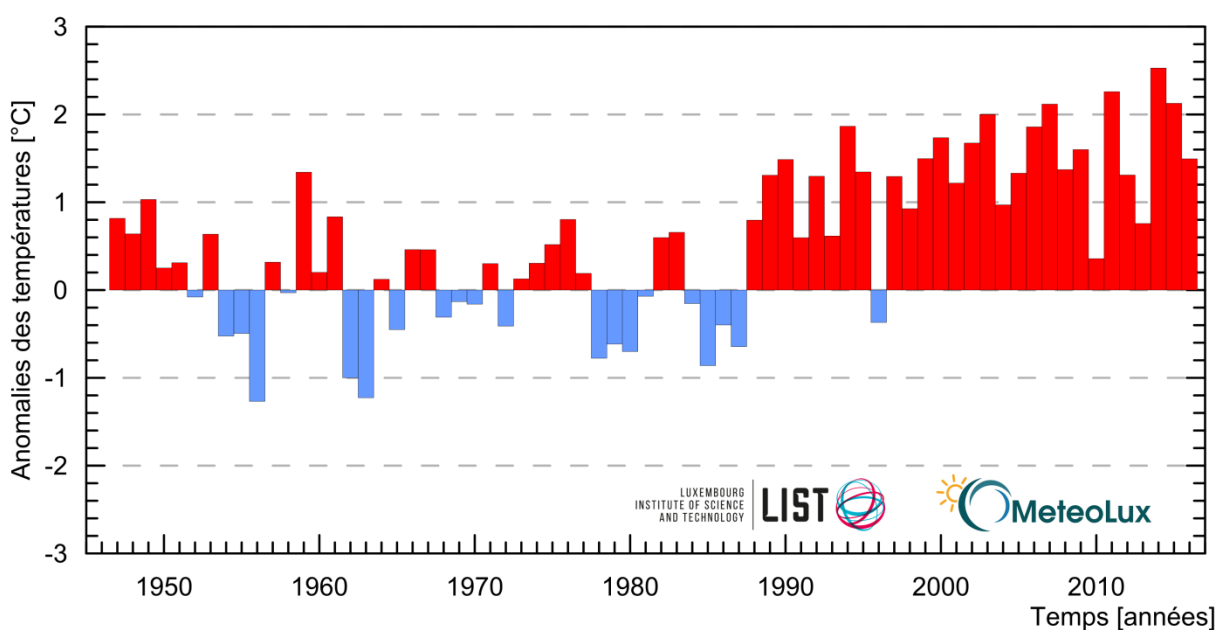


Figure 2 : Anomalies annuelles de la température de l'air dans la station de Findel sur la période de référence 1961-1990 (8,3 °C) ; période d'évaluation : de 01/1947 à 12/2016. Source : non publiée, données brutes de MeteoLux

La nette hausse de la température de l'air à partir de 1990 apparaît aussi dans les anomalies correspondantes (Figure 2). Depuis 1988, toutes les anomalies de la température de l'air sont positives, à l'exception de celle de l'année 1996.

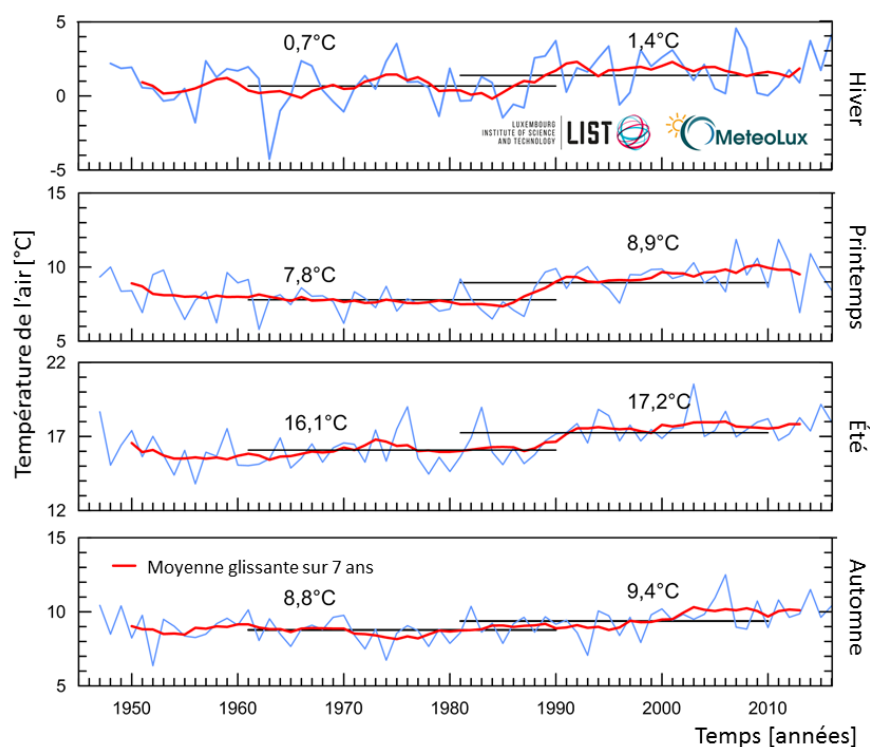


Figure 3 : Moyennes de la température de l'air des saisons météorologiques (hiver = de décembre à février, printemps = de mars à mai, été = de juin à août, automne = de septembre à novembre) pour la station de Findel (ligne bleue), moyenne mobile sur 7 ans (ligne rouge) et moyennes (lignes noires) sur les deux périodes de référence 1961-1990 et 1981-2010 ; période d'évaluation : de 01/1947 à 12/2016. Source : non publiée, données brutes de MeteoLux

Les températures moyennes des saisons météorologiques sont représentées dans la Figure 3. Pendant les quatre saisons météorologiques, la température moyenne de l'air de la seconde période de référence (1981-2010) est toujours nettement supérieure à celle de la première période de référence. Si l'on observe l'évolution de la température de l'air au sein des périodes de référence en s'aidant d'analyses tendanciennes linéaires, on relève une augmentation générale de la température de l'air dans les limites mêmes de ces phases de trente ans.

Le tableau 3 regroupe les résultats des analyses tendanciennes linéaires. Y sont indiquées les tendances par décennie pour les différentes saisons et pour les valeurs annuelles. Toutes les tendances sont positives, mais seules les valeurs du printemps et de l'été sont statistiquement significatives, de même que les valeurs annuelles de la seconde période de référence.

Tableau 3 : Analyse tendancielle linéaire des températures saisonnières et annuelles de l'air pour les deux périodes de référence. Tendance par décennie. Les valeurs statistiquement significatives (test de Mann-Kendall) sont marquées en rouge

	Température de l'air [°C]	
	1961-1990	1981-2010
Hiver (DJF)	+0,37	+0,52
Printemps (MAM)	+0,13	+0,78
Été (JJA)	+0,23	+0,63
Automne (SON)	+0,07	+0,40
Année	+0,20	+0,55

Les quatre stations du Service de la météorologie de l'ASTA font ressortir dans la *Figure 4*. la variabilité géographique de la température. Avec 10,2 °C et 10,0 °C respectivement, les deux stations de la vallée de la Moselle (Remich et Grevenmacher) ont les températures moyennes les plus élevées sur la période de référence 1981-2010. Asselborn, située dans le nord du pays, affiche la température la plus basse avec 8,3 °C. Avec 9,1 °C, la valeur de la station de Clemency, située dans la partie sud-ouest, est comparable à celle de la station de Findel. La tendance linéaire vers des températures plus élevées dans les quatre stations pendant la période évaluée est comparable à celle constatée pendant la même période dans la station de Findel.

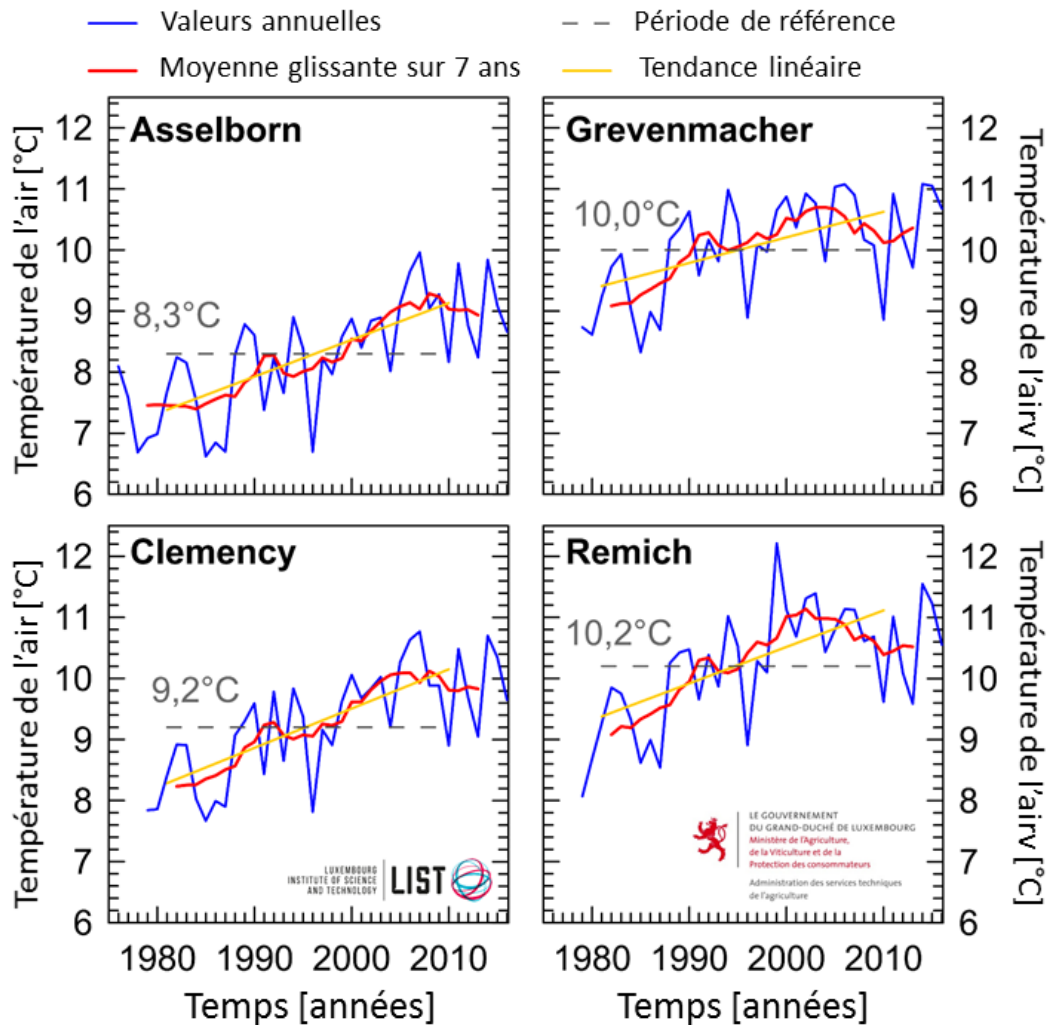


Figure 4 : Moyennes annuelles de la température de l'air dans les stations ASTA d'Asselborn, de Grevenmacher, de Clemency et de Remich (ligne bleue), moyenne mobile sur 7 ans (ligne rouge) et moyenne de la période de référence 1981-2010 ; source : données brutes ASTA

2.1.1.2. Précipitations

Les sommes annuelles de précipitations dans la station de Findel sont représentées dans la Figure 5. À l'opposé de la température de l'air, les moyennes des deux périodes de référence ne diffèrent que légèrement l'une de l'autre avec 875 mm (sur la période 1961-1990) et 897 mm (sur la période 1981-2010) et cette différence n'est statistiquement pas significative.

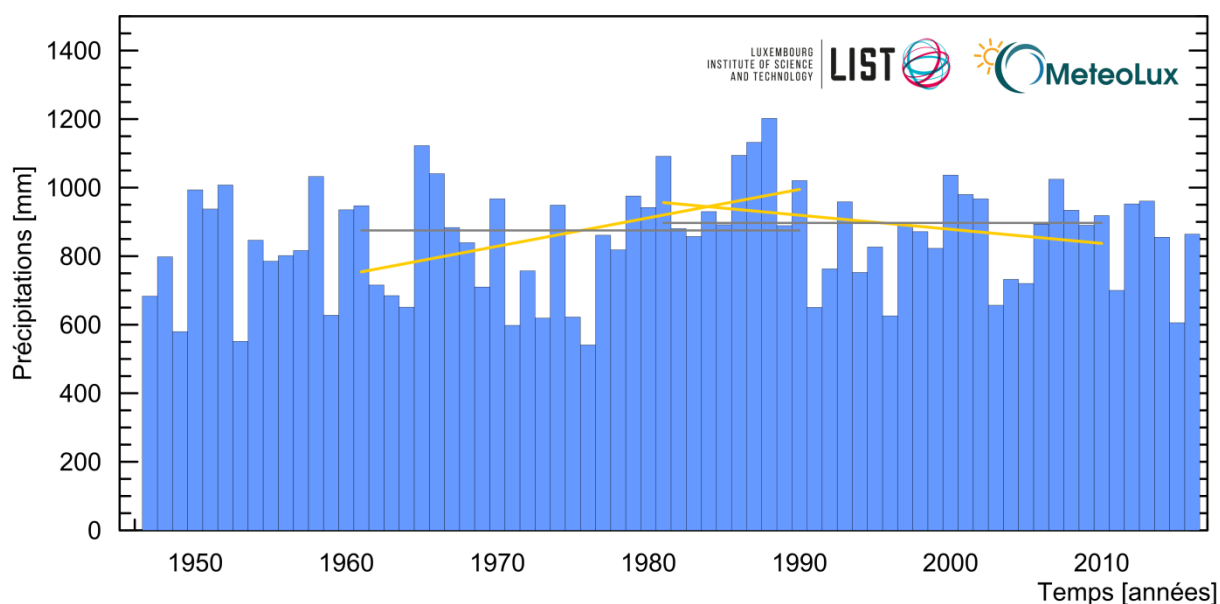


Figure 5 : Sommes de précipitations annuelles dans la station de Findel et sommes moyennes des précipitations annuelles sur les deux périodes de référence 1961-1990 (875 mm) et 1981-2010 (897 mm) ; période d'évaluation : de 01/1947 à 12/2016. Source : non publiée, données brutes de MeteoLux

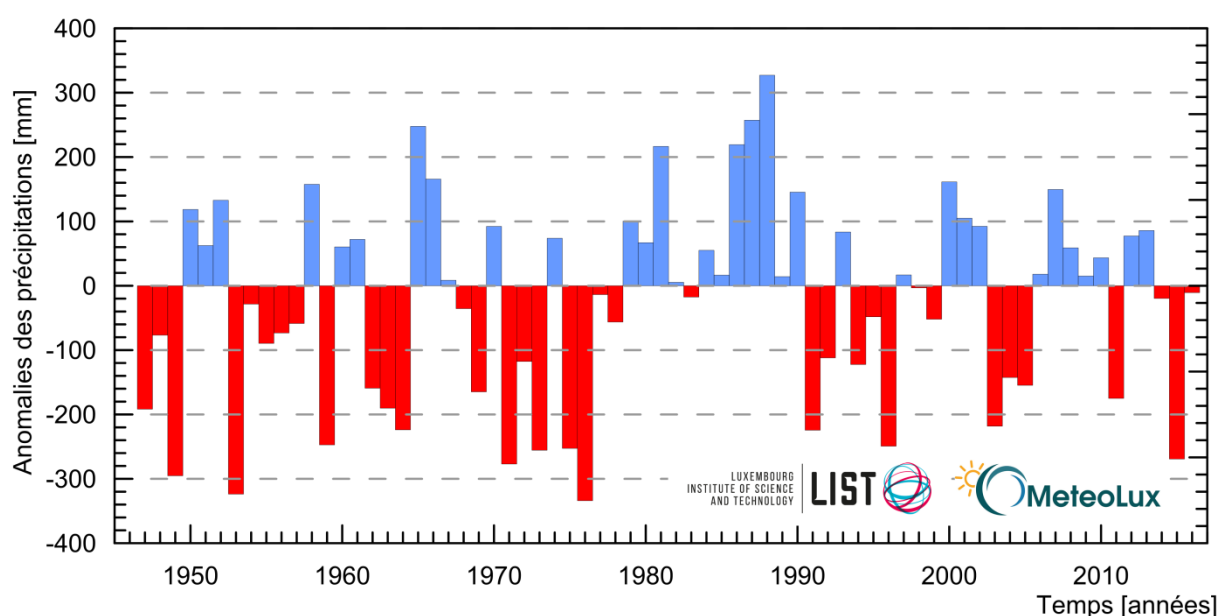


Figure 6 : Anomalies annuelles des précipitations dans la station de Findel sur la période de référence 1961-1990 (875 mm) ; période d'évaluation : de 01/1947 à 12/2016. Source : non publiée, données brutes de MeteoLux

Ce constat est également mis clairement en évidence par les anomalies des précipitations représentées en Figure 6 pour la moyenne pluriannuelle de 875 mm sur la période de référence 1961-1990.

La Figure 7 montre les évolutions des sommes de précipitations au cours des saisons météorologiques. Les différences entre les deux périodes de référence sont faibles et ne sont statistiquement pas significatives. De manière analogue à la procédure appliquée aux

évaluations de la température de l'air, on a également effectué des analyses tendanciennes linéaires des précipitations pour les deux périodes de référence de 30 ans. Le *Tableau 4* montre qu'une augmentation des sommes des précipitations est certes observée pendant la première période de référence mais que seule la tendance des sommes annuelles n'est toutefois statistiquement significative. La baisse relevée pendant la seconde période de référence n'est statistiquement pas significative.

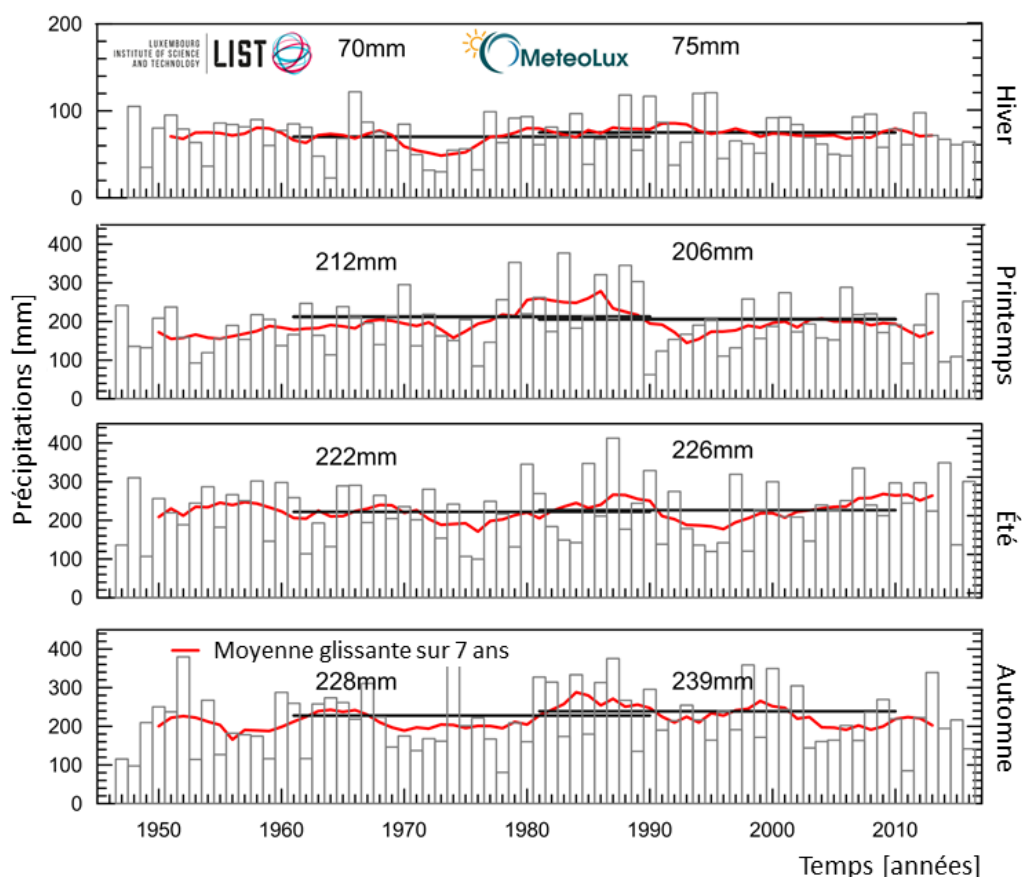


Figure 7 : Moyennes des précipitations des saisons météorologiques (hiver = de décembre à février, printemps = de mars à mai, été = de juin à août, automne = de septembre à novembre) dans la station de Findel (colonnes grises), moyenne mobile sur 7 ans (ligne rouge) et moyennes (lignes noires) sur les deux périodes de référence 1961-1990 et 1981-2010 ; période d'évaluation : de 01/1947 à 12/2016. Source : non publiée, données brutes de MeteoLux

L'évaluation des données disponibles sur les précipitations dans les quatre stations du Service météorologique de l'ASTA fait ressortir dans la *Figure 8* la répartition géographique des précipitations annuelles au Luxembourg. Ainsi, les précipitations annuelles les plus élevées sont localisées le long de la bordure occidentale du pays, à Asselborn et à Clemency, et les plus basses dans la vallée de la Moselle, à Grevenmacher et à Remich. Les valeurs les plus hautes de la station de Findel s'expliquent par sa situation sur un plateau.

L'augmentation des valeurs entre les périodes de référence 1961-1990 et 1981-2010 est la plus prononcée à Clemency avec +47 mm. À Grevenmacher et à Remich, les précipitations annuelles moyennes affichent respectivement une hausse de +30 mm et de +28 mm.

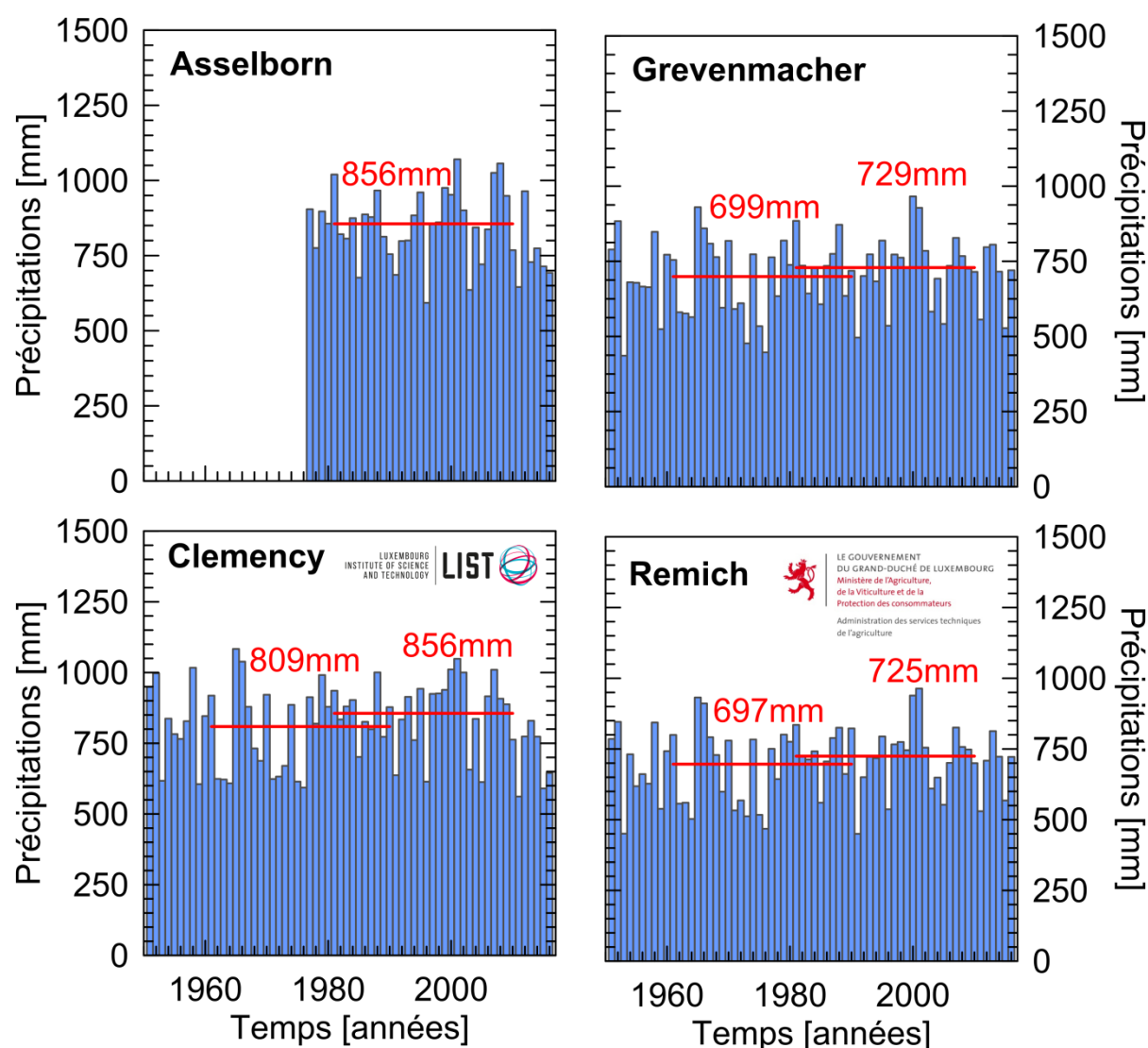


Figure 8 : Sommes des précipitations annuelles dans les stations ASTA en bleu et moyennes des périodes de référence en rouge. Source : données homogénéisées, ASTA

Tableau 4 : Analyse tendancielle linéaire des précipitations saisonnières et annuelles pour les deux périodes de référence. Tendence par décennie. Les valeurs statistiquement significatives (test de Mann-Kendall) sont marquées en rouge

	Précipitations [mm]	
	1961-1990	1981-2010
Hiver (DJF)	+5,9	-1,3
Printemps (MAM)	+25,4	-19,2
Été (JJA)	+20,2	+6,1
Automne (SON)	+16,6	-25,1
Année	+83,3	-42,1

2.1.1.3. Événements extrêmes

En matière de connaissances sur les événements extrêmes, le Luxembourg dispose essentiellement d'analyses sur les précipitations et la température de l'air. La *Figure 9* affiche le nombre de jours dans l'année où ont été enregistrées des précipitations intenses dans la station de Findel/aéroport. Des précipitations sont définies comme intenses quand les précipitations journalières dépassent le seuil de 17,8 mm, qui correspond au percentile 95 (P95) de la répartition des précipitations sur la période de référence 1981-2010.

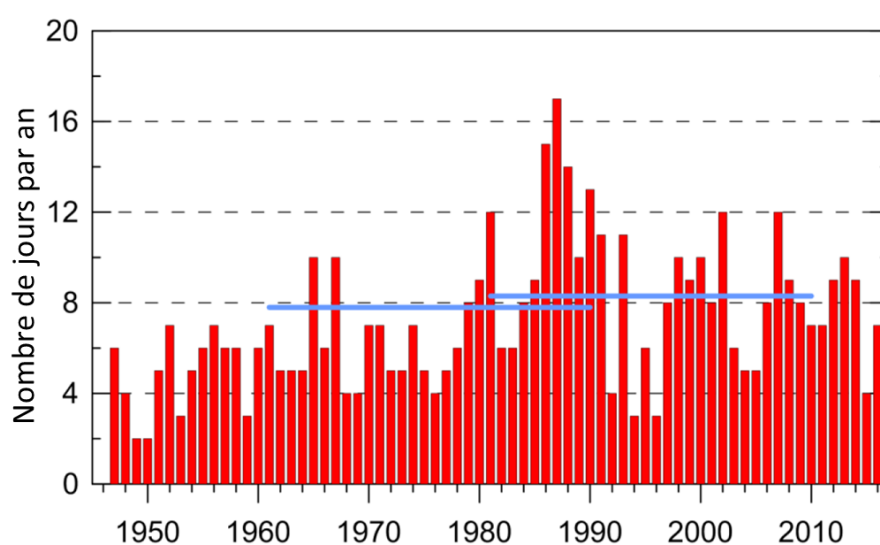


Figure 9 : Nombre de jours de l'année avec des précipitations intenses dans la station de Findel/aéroport ; période 1947-2016. La valeur seuil est déduite de la période de référence 1981-2010, P95 = 17,8 mm

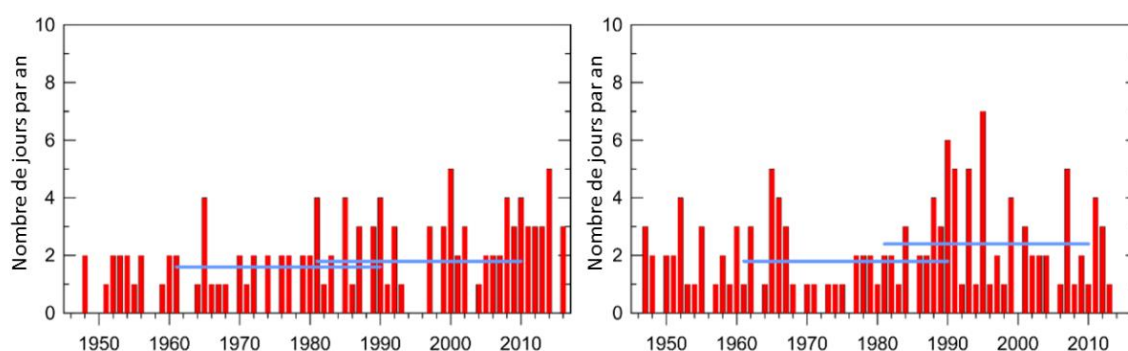


Figure 10 : Nombre de jours de l'année avec des précipitations intenses dans la station de Findel/aéroport pendant les saisons météorologiques 'été' (à gauche) et 'hiver' (à droite) ; période 1947-2016. La valeur seuil est déduite de la période de référence 1981--2010, P95 'été' = 21,8 mm et P95 'hiver' = 16,1 mm

Si l'on compare les moyennes de la période de référence 1961-1990 avec celles de la période 1981-2010, on ne relève qu'une faible augmentation (de 7,8 à 8,3) du nombre moyen d'événements ; cette différence n'est statistiquement pas significative. La

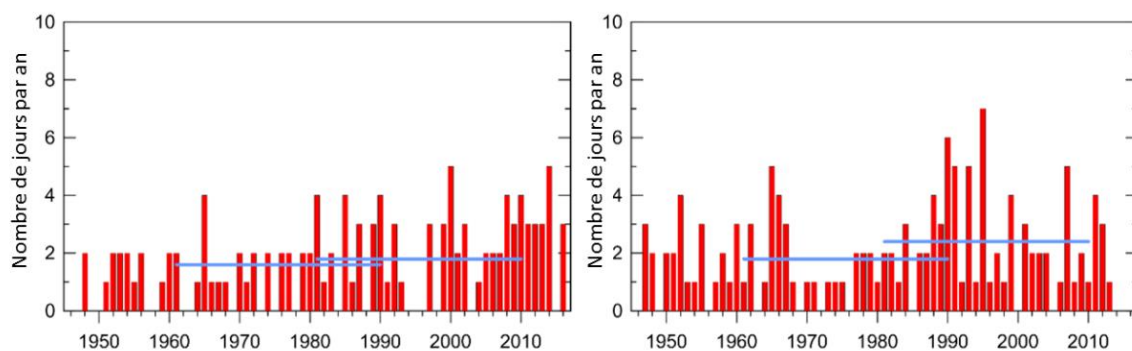


Figure 10 : Nombre de jours de l'année avec des précipitations intenses dans la station de Findel/aéroport pendant les saisons météorologiques 'été' (à gauche) et 'hiver' (à droite) ; période 1947-2016. La valeur seuil est déduite de la période de référence 1981--2010, P95 'été' = 21,8 mm et P95 'hiver' = 16,1 mm

présente les résultats obtenus pour l'été météorologique (juin à août) et pour l'hiver (décembre à février). Pour les mois d'été comme pour les mois d'hiver, on observe une augmentation du nombre moyen de jours avec des précipitations intenses entre les deux périodes de référence. Cette hausse est un peu plus élevée pendant les mois d'hiver que pendant les mois d'été. Bien que l'augmentation constatée pour ces deux saisons soit plus nette que pour les valeurs annuelles, ces tendances ne sont pas statistiquement significatives pour la station de Findel.

L'*Administration des services techniques de l'agriculture* (ASTA) dispose également de séries pluriannuelles de mesure de la température de l'air et des précipitations pour plusieurs autres stations que celle de Findel. La Figure 11 montre l'évolution des jours de précipitations intenses dans quatre stations.

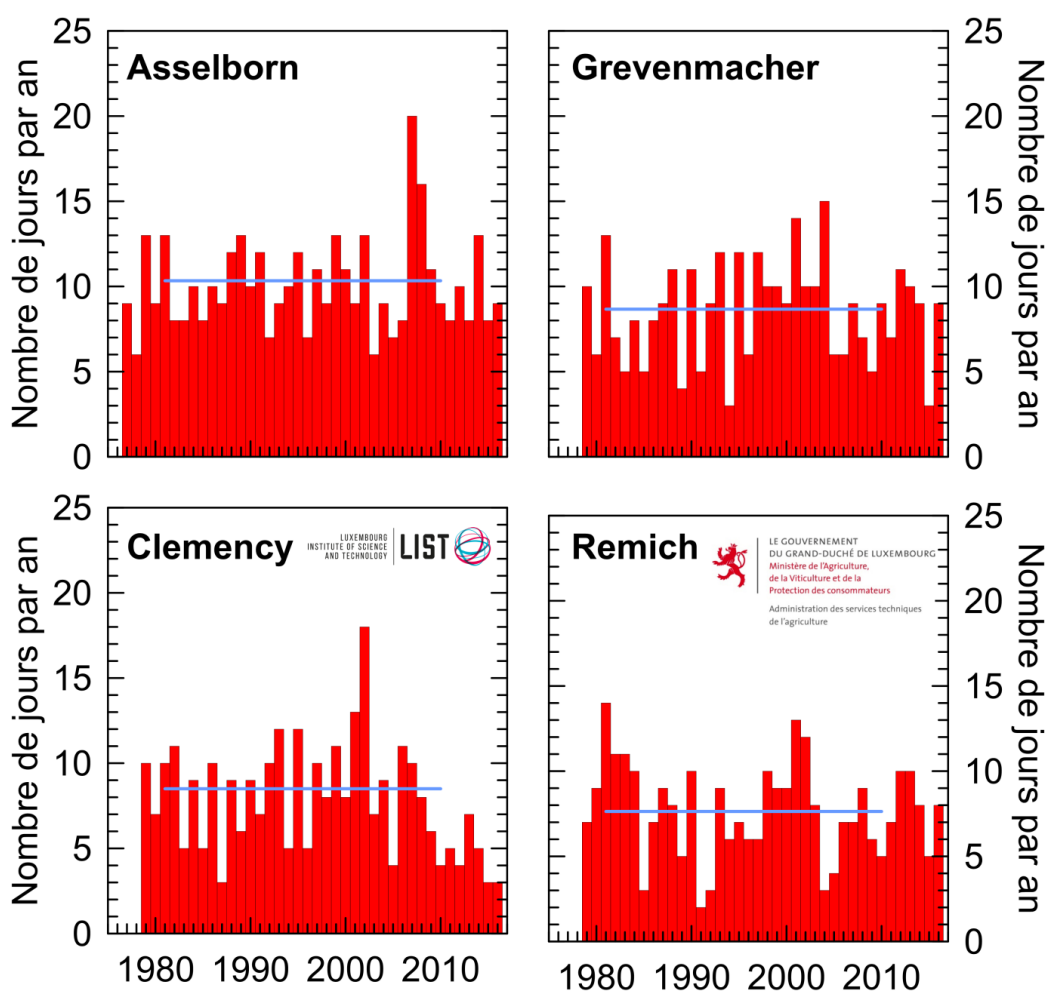


Figure 11 : Nombre de jours de l'année avec des précipitations intenses dans différentes stations ASTA ; valeur seuil déduite de la période de référence 1981-2010, valeurs seuils pour les jours avec précipitations intenses : Asselborn = 14,6 mm, Grevenmacher = 15,7 mm, Clemency = 18,6 mm, Remich = 15,7 mm ; source : données brutes ASTA

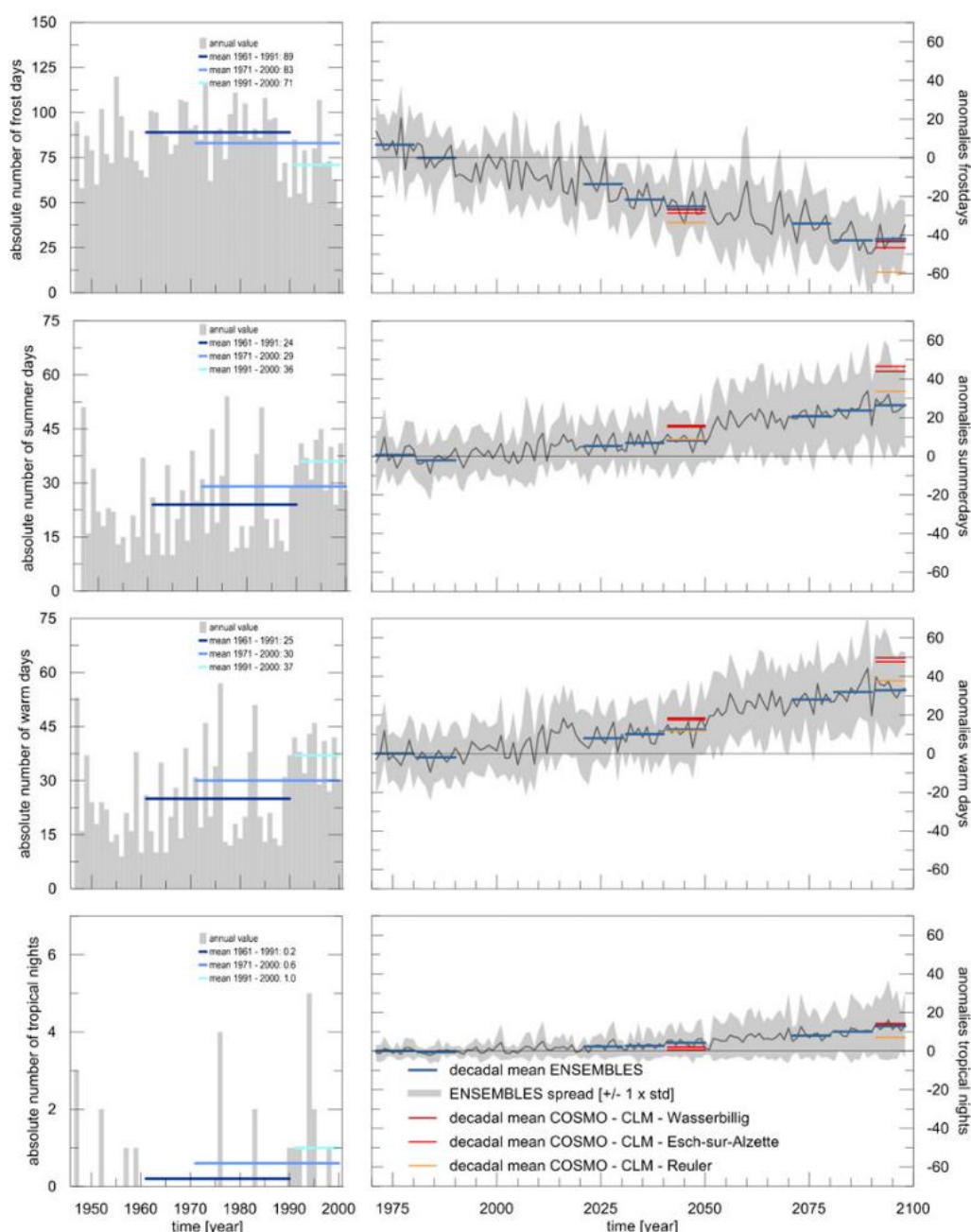


Figure 12 : Nombre absolu de jours d'événements sélectionnés sur la base de données mesurées dans la station de Findel (à gauche : période 1947-2000) et sur la base de projections climatiques réalisées avec le modèle COSMO-CLM. Source : Junk et al. 2013

La Figure 12 présente l'évolution de jours d'événements météorologiques sélectionnés autant pour le passé (sur la base des valeurs mesurées dans la station de Findel) que pour le futur (sur la base de projections climatiques à haute résolution obtenues avec le modèle COSMO-CLM) (Junk et al. 2013). Le nombre de jours de gel (minimum journalier de la température de l'air $< 0^{\circ}\text{C}$) a nettement diminué au cours des dernières décennies. En revanche, le nombre de jours d'été (maximum journalier de la température de l'air $\geq 25^{\circ}\text{C}$), tout comme celui de jours chauds (maximum journalier de la température de l'air $\geq 20^{\circ}\text{C}$) et de nuits tropicales (température nocturne de l'air $\geq 20^{\circ}\text{C}$), a augmenté.

2.1.2. Projections d'évolution future du climat dans le périmètre géographique du Grand-Duché de Luxembourg

Les données des évaluations indiquées ci-après reposent sur des projections climatiques obtenues à l'aide de modèles numériques. Ces projections s'ancrent quant à elles sur les résultats de modèles climatiques régionaux (MCR) issus du projet « Ensemble » FP6 de l'UE. Les MCR ont été forcés par différents modèles climatiques globaux (MCG), en première ligne HadCM3 et ECHAM5, dans l'hypothèse du scénario d'émission A1B (multi-modèles d'Ensemble). La résolution horizontale du MCR est de 25 km. On a corrigé les biais des champs de résultats des MCR (quantile mapping) pour réduire les erreurs systématiques. On dispose de séries chronologiques continues pour la température de l'air et pour les précipitations. On utilise en outre une projection climatique à haute résolution (1,3 km) également fondée sur le scénario d'émission A1B et calculée à l'aide du modèle COSMO-CLM (*Figure 13*).

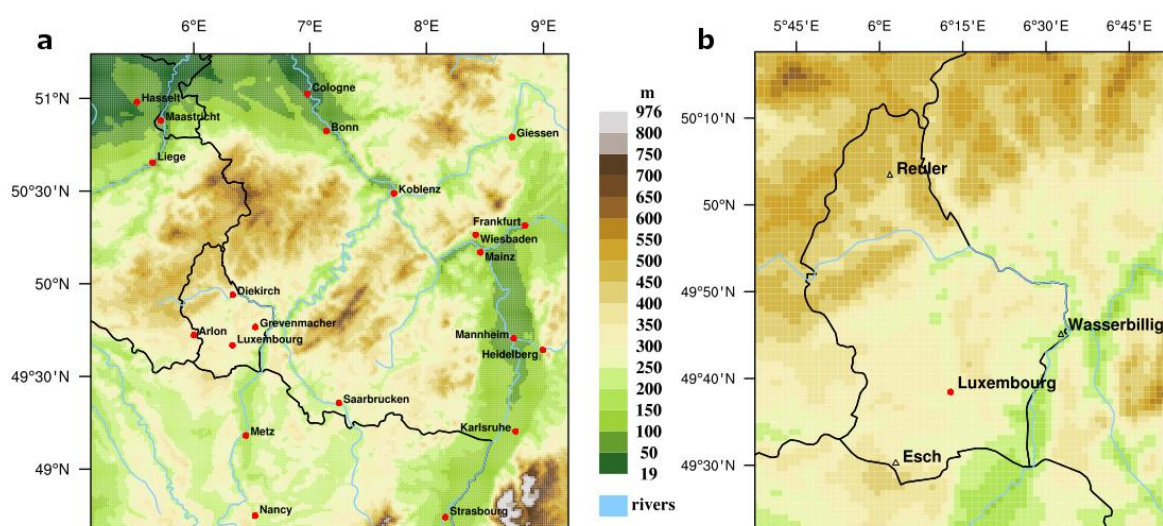


Figure 13 : Différents domaines de la modélisation à haute résolution effectuée avec le modèle COSMO-CLM. Domaine cible Luxembourg, 220 x 220 points de grille avec résolution horizontale d'env. 1,3 km. Source : Junk et al. 2013

On ne dispose cependant pas de runs continus mais uniquement de tranches temporelles de 10 ans pour la période de comparaison (1991-2000), le futur proche (2041-2050) et le futur éloigné (2091-2100). On trouvera des informations supplémentaires sur les projections climatiques dans les références bibliographiques Görden et al. (2013) ou Junk et al. (2012, 2013, 2016).

2.1.2.1. Température

La *Figure 14* présente l'évolution de la température de l'air au Luxembourg jusqu'en 2098 à partir des projections climatiques disponibles. La partie hachurée en gris correspond à la plage de variation déterminée à partir de tous les membres d'Ensemble. La ligne noire représente la moyenne multi-modèles d'Ensemble. De plus, les valeurs de la station de Findel sont indiquées sous forme de ligne rouge. Avec 8,1 °C, la moyenne pluriannuelle (1961-1990) calculée à partir de tous les membres d'Ensemble coïncide très bien avec la moyenne de la station de Findel pour la même période. La température moyenne de l'air augmente jusqu'au milieu du siècle, où elle passe à 9,2°C, puis jusqu'à la fin du siècle où elle atteint 11,2 °C.

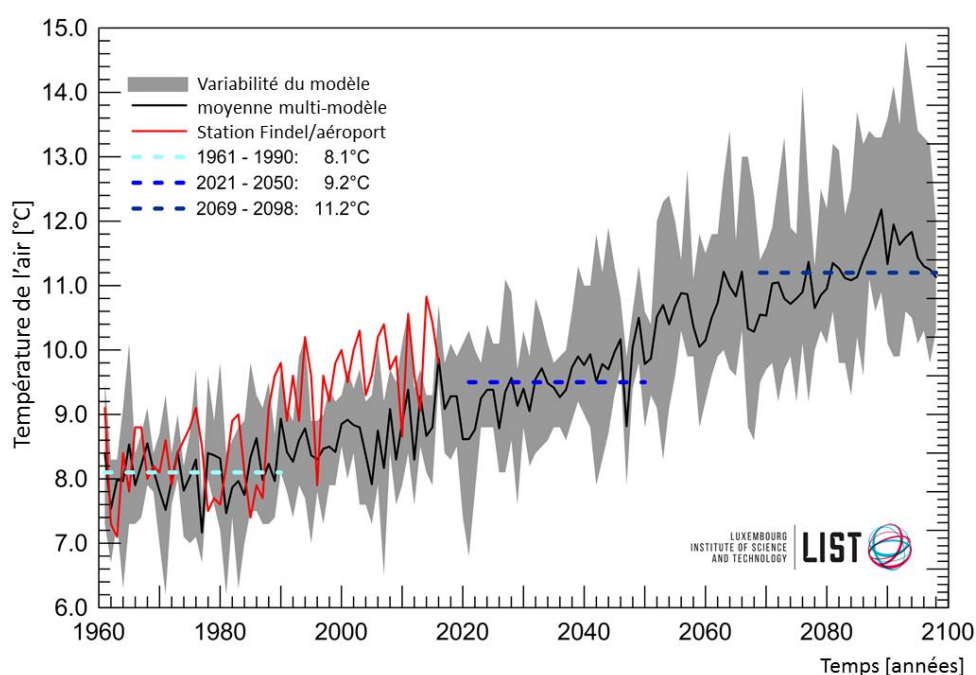


Figure 14 : Évolution de la température de l'air au Luxembourg calculée à partir d'un ensemble de projections climatiques ; période 1961-2098. Source : Junk et al. 2012 (révisé)

2.1.2.2. Précipitations

De manière analogue aux températures de l'air, les résultats obtenus pour les précipitations sont affichés dans la *Figure 15*. Ici également, la moyenne de la période de référence, qui est de 880 mm (1961-1990), coïncide très bien avec la valeur de la station OMM de Findel/aéroport (875 mm). Les sommes annuelles des précipitations modélisées ne font apparaître aucun signal manifeste de modification. Si l'on examine la situation pour les saisons météorologiques (non représentées ici), on observe une augmentation des précipitations hivernales et une baisse des précipitations estivales.

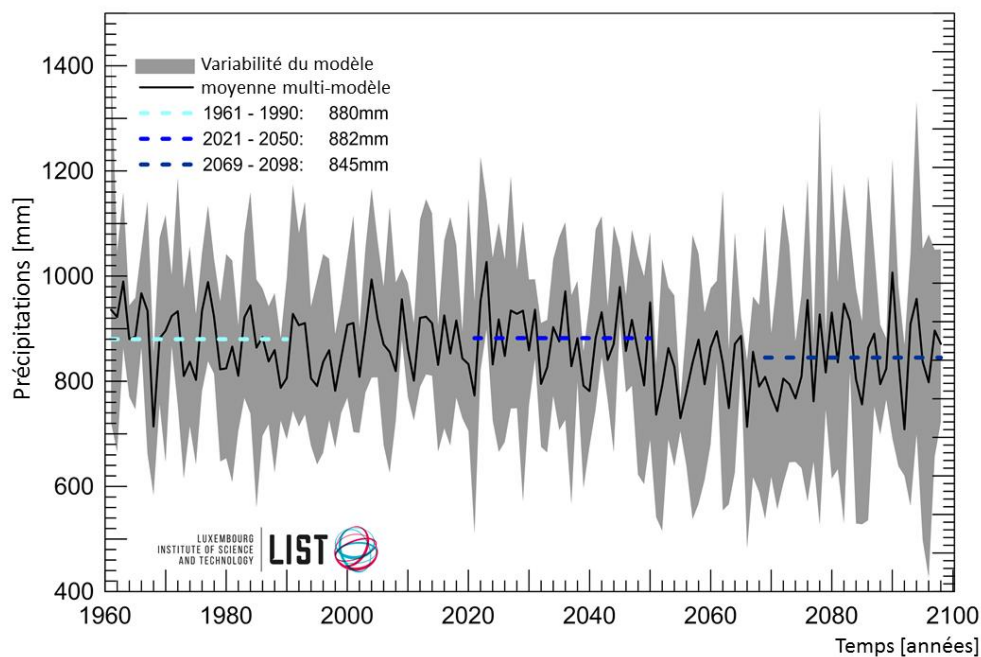


Figure 15 : Évolution des précipitations au Luxembourg calculée à partir d'un ensemble de projections climatiques ; période 1961-2098. Source : non publiée

2.1.2.3. Événements extrêmes

L'évolution possible des événements extrêmes à l'avenir se fonde sur des jeux de données du projet « Ensemble ». La Figure 16 montre l'évolution de la température de l'air et des précipitations sur une base journalière pour les saisons météorologiques 'été' et 'hiver'. On constate un décalage des températures de l'air vers des valeurs plus élevées accompagné d'une régression simultanée des quantités de précipitations pendant les mois estivaux, et ce autant dans un futur proche (2021 à 2050) que dans un futur lointain (2069 à 2098). À l'opposé, un décalage se produit pendant les mois hivernaux vers une hausse des températures de l'air comme des quantités de précipitations. Le nombre de 'jours-événements' météorologiques déterminés à partir des températures de l'air modélisées est affiché dans la Figure 16 (partie droite). Autant les données d'Ensemble à résolution spatiale grossière que les résultats du modèle COSMO-CLM font apparaître un net recul des jours de gel et une augmentation des jours chauds, des jours d'été et des nuits tropicales au Luxembourg (non représenté, voir chapitre 2.1.1.3 pour les définitions).

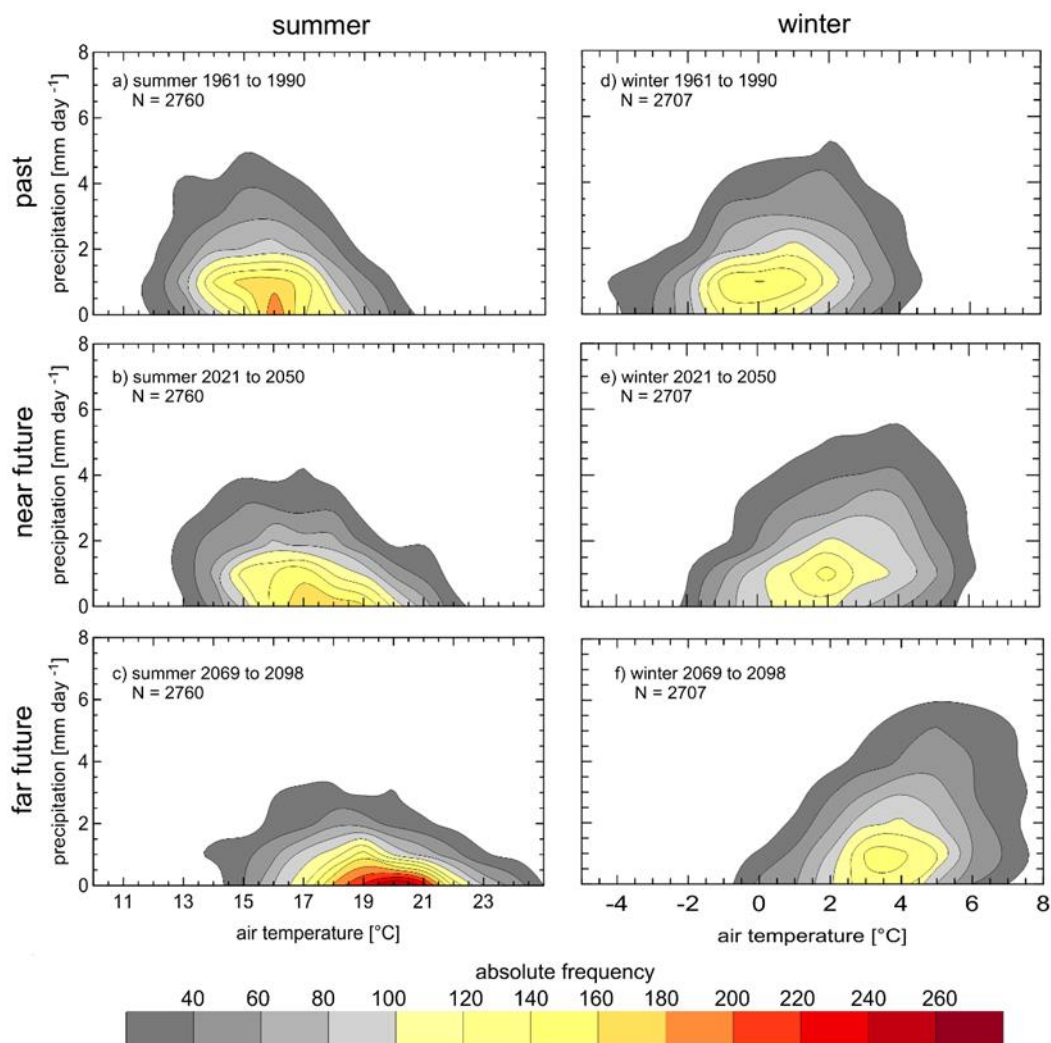


Figure 16 : Distribution de fréquence absolue des valeurs journalières de température de l'air et de précipitations dérivées de 6 projections climatiques régionales pour le Luxembourg pour la période de référence (1961-1990), le futur proche (2021-2050) et le futur éloigné (2069-2098). Source : Goergen et al. (2013)

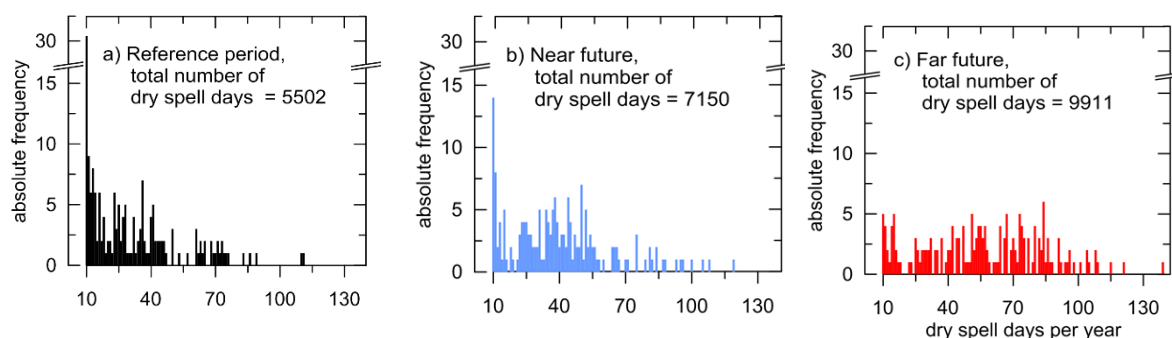


Figure 17 : Distribution de fréquence absolue des jours sans précipitations calculée à partir de 6 membres d'Ensemble pour la période de référence (a), le futur proche (b) et le futur éloigné (c). Source : non publiée

La fréquence absolue des jours sans précipitations est représentée pour le Luxembourg dans la Figure 17 : Distribution de fréquence absolue des jours sans précipitations calculée à partir

de 6 membres d'Ensemble pour la période de référence (a), le futur proche (b) et le futur éloigné (c). Source : non publiée

. Les fréquences sont calculées à partir de 6 différentes projections climatiques régionales issues du projet « Ensemble » de l'UE. Le nombre de jours sans précipitations augmente dans le futur proche par rapport à la période de référence. Cet effet s'amplifie vers la fin de la période de projection allant de 2069 à 2098.

2.1.3. Résumé

Le climat du Luxembourg est un climat de type océanique modérément humide avec une légère tendance continentale et se caractérise par des températures annuelles modérées et des vents sud-ouest dominants. La température annuelle est de 8,3 °C en moyenne pluriannuelle (1961-1990 ; 1981-2010 : 9,3 °C) et les précipitations moyennes sont de 875 mm (1961-1990 ; 1981-2010 : 897 mm).

On observe une augmentation des précipitations intenses à la station de Findel au cours de la première période de référence (1961-1990) ; en revanche, la légère diminution des valeurs au cours de la deuxième période de référence n'est pas statistiquement significative. Les effets qui en découlent sont en partie positifs et en partie négatifs, p. ex. pour l'agriculture. Le risque d'une plus forte érosion des sols, les dommages causés aux plantes, par la grêle p. ex., et le lessivage des nutriments sont des effets jugés négatifs.

Les projections climatiques réalisées pour le Luxembourg mettent en évidence une nette montée des températures de l'air due en premier lieu à l'augmentation des températures minimales pendant les mois d'hiver. Par ailleurs, il faut s'attendre à une baisse des précipitations pendant les mois d'été et une hausse des précipitations hivernales. Reliées à des températures de l'air plus élevées pendant les mois d'hiver, ces évolutions font baisser la probabilité de chute de neige et augmenter simultanément le risque d'inondation.

2.2. Répercussions du changement climatique sur l'environnement naturel

Les impacts du changement climatique sur le Grand-Duché de Luxembourg se font déjà ressentir et affectent non seulement l'environnement naturel, qui comprend la biosphère, l'hydrosphère et la pédosphère, mais également l'anthroposphère, c'est-à-dire l'espace de vie créé par l'homme.

Toutes ces sphères sont reliées par des interactions de cause à effet. Les impacts du climat sur la biosphère, l'hydrosphère et la pédosphère sont traités dans les chapitres 2.2.1 à 2.2.3.

L'influence du changement climatique sur les secteurs les plus divers est examinée dans le chapitre 4.

2.2.1. Biosphère

Le changement climatique met plus encore sous pression les écosystèmes et certaines espèces déjà affectés en partie aujourd'hui par des facteurs multiples. Ainsi, la résilience des écosystèmes subit une dégradation supplémentaire sous l'effet de la pollution atmosphérique, de la fragmentation croissante des structures paysagères et de l'homogénéisation des espaces naturels et culturels.

Pour préserver la biodiversité, protéger les habitats et gérer durablement les ressources, le Grand-Duché a désigné 27 % de son territoire comme zones Natura 2000. De plus, on compte au Luxembourg 60 réserves naturelles couvrant une superficie totale d'environ 8 100 ha (état : juillet 2018

https://environnement.public.lu/fr/natur/biodiversite/mesure_3_zones_especes_proteges/zones_protegees_interet_national.html). Ces réserves naturelles se composent entre autres de zones humides, de pelouses sèches ou de réserves de forêts naturelles.

La protection des habitats revêt une grande importance en raison des impacts négatifs du changement climatique tels que l'apparition plus fréquente de périodes de canicule ou la propagation croissante d'espèces exotiques. Les habitats humides – comme les prairies humides ou très humides, les tourbières de transition, tourbières tremblantes ou tourbières basses – qui sont menacés par la hausse des températures et par d'autres facteurs du changement climatique planétaire, sont particulièrement touchés par celui-ci.

La composition des espèces et les structures de domination en place dans les écosystèmes aquatiques sont modifiées par des températures de l'eau plus élevées le long des rivières. Les espèces dépendant de basses températures sont particulièrement sensibles. Leurs aires d'implantation peuvent se décaler vers le nord ou vers des zones aquatiques situées plus en altitude (Le gouvernement du Grand-Duché de Luxembourg, 2015). Les espèces capables de supporter des variations thermiques importantes et les espèces thermophiles que l'on rencontrait plutôt jusqu'alors à proximité des zones d'embouchure, et parmi elles de nombreuses espèces exotiques, voient leurs conditions de vie améliorées et peuvent s'implanter plus en amont dans les cours fluviaux (Le gouvernement du Grand-Duché de Luxembourg, 2015).

L'adaptation des écosystèmes forestiers au changement climatique par une gestion prévoyante et écologique est d'autant plus importante que 35 % du territoire sont couverts de forêts. On relève p. ex. comme perturbations dues au changement climatique l'apparition plus fréquente d'insectes nuisibles (comme les scolytes) ou des dommages d'un type nouveau causés par des organismes nuisibles introduits ou immigrés de régions plus méridionales. Ces perturbations représentent un danger particulier pour les écosystèmes forestiers quand elles

se superposent. Un exemple nous en est donné avec le prolongement de la période de végétation.

Parallèlement à ces impacts, des événements naturels d'ampleur exceptionnelle tels que les inondations, les tempêtes ou les feux de forêt affectent les différents écosystèmes et leur services (par exemple, la stabilisation des pentes, la formation des sols, les cycles nutritifs ou aquatiques). En particulier les répercussions des feux de forêt sur le paysage sont souvent encore visibles après des décennies. Quand la fonction de protection de la forêt est abaissée par un incendie, les risques potentiels naturels secondaires augmentent considérablement. Il peut en résulter une altération des qualités touristiques de certaines zones, une dégradation des infrastructures et des structures de communication, une baisse des rendements agricoles ou une perte de patrimoine forestier.

Cependant, la prolongation attendue de la période végétative peut aussi avoir des effets positifs (p. ex. une hausse des rendements potentiels) sur l'agriculture du Grand-Duché, si l'approvisionnement en eau est suffisant. On a pu démontrer par exemple qu'une hausse significative des températures de l'air (d'environ 2 °C pendant la période végétative dans les premières décennies du nouveau millénaire par rapport aux années 1970) avait permis d'atteindre ou de dépasser dans la majorité des années de la dernière décennie la quantité de chaleur nécessaire à la culture et à la maturation complète des cépages bourguignons et du Riesling. On constate également que le risque de gelée tardive a en tendance diminué au cours des dernières décennies (Molitor et al., 2014a). En outre, des projections modélisées montrent que la fréquence des dommages dus aux gelées précoces baissera dans les régions viticoles du Luxembourg (Molitor et al., 2014b).

Pour les cultures labourées comme pour la viticulture, on peut supposer en revanche qu'une prolongation de la période végétative se traduira par une augmentation des organismes nuisibles (p. ex. le charançon de la tige du chou, le charançon de la tige du colza, le moucheron asiatique (Junk et al., 2011)). Des projections climatiques régionales montrent également que la situation ira en s'améliorant vis-à-vis de maladies infectieuses telles que la rouille du blé (Junk et al., 2015c).

La recrudescence de périodes de sécheresse peut assécher en partie les prairies et favoriser ainsi un développement excessif de mauvaises herbes à racines pivotantes.

Les impacts du changement climatique sur la biosphère au Luxembourg et les pays voisins sont présentés et expliqués dans le *Tableau 5*. Y est également présentée l'évolution de quelques indicateurs significatifs pour des impacts climatiques particuliers, et ce d'une part pour le Luxembourg et d'autre part en comparaison avec la moyenne européenne.

Tableau 5 : Impacts du changement climatique sur la biosphère

Légende : « + », « = » ou « - » comme premier signe : Augmentation, constance ou baisse de l'indicateur concerné au Luxembourg au cours du siècle présent. « + », « = » ou « - » comme second signe : modification plus forte, égale ou plus faible au Luxembourg que la moyenne européenne (www.eea.europa.eu/data-and-maps, www.atlas.impact2c.eu/en/). NR : pas de comparaison possible sur la base de la bibliographie analysée.

Impact climatique	Explication	Indicateurs significatifs Évolution	Bibliographie
Modification de la composition des espèces	<i>Explication :</i> Le décalage des habitats dû à l'évolution des températures modifie la composition des espèces au sein des écosystèmes et met ainsi en péril certaines espèces. <i>Réf. bibliographiques :</i> Allemagne : le changement climatique entraîne des modifications au sein des communautés d'espèces. Pour 88 espèces d'oiseaux nicheurs fréquentes en Allemagne, on note ainsi sur la période comprise entre 1990 et 2010 un décalage statistiquement significatif des fréquences relatives à l'avantage des espèces thermophiles et au détriment des espèces psychrophiles. Il est encore impossible d'estimer à l'heure actuelle les autres répercussions que cette évolution aura sur la biodiversité. Avec le changement climatique, les conditions de croissance de l'épicéa vont se détériorer progressivement. De 2002 à 2012, on ne constate pas d'aggravation sensible des risques pour les forêts allemandes 16). Belgique : quelques conifères, p. ex. les épicéas, seront de moins en moins adaptés au climat en raison de conditions hivernales plus tempérées et plus pluvieuses. Dans le même temps, les feuillus (p. ex. les hêtres) seront également moins adaptés au climat du fait de la plus grande fréquence de périodes sèches 8). Sarre : on attend à moyen ou long terme que les impacts du changement climatique modifient la composition des biocénoses et appauvrissent la biodiversité 4). On constate tout particulièrement au cours des 30 dernières années une nette extension des espèces thermophiles initialement originaires du bassin méditerranéen. Cette évolution est démontrée par de nombreux exemples d'oiseaux (hypolaïs polyglotte), de libellules (libellule écarlate), de sauterelles (grillon d'Italie) et d'araignées (argiope frelon) 10).	Température hivernale + / - Température estivale + / = Jours chauds + / - Température moyenne annuelle + / = Sécheresse + / = Précipitations estivales - / NR Nombre de jours de gel - / = Nuits tropicales + / -	2) ; 3) ; 4) ; 5) ; 6) ; 9) ; 10) ; 19) ; 20)
Déplacement d'habitats	<i>Explication :</i> Déplacement d'habitats de plantes et d'animaux dû à la température <i>Réf. bibliographiques :</i> Luxembourg : modification de la répartition géographique d'espèces sous l'impact du changement climatique ; colonisation de régions correspondant aux tolérances et exigences climatiques spécifiques à ces espèces 7). Sarre : l'évolution des températures et des précipitations et la fréquence accrue d'événements extrêmes auront des répercussions sur le cycle biologique annuel, le comportement, la reproduction, les rapports de concurrence et le mode d'alimentation des espèces. Il en résultera des déplacements d'aires de distribution d'espèces et d'écosystèmes, qui affecteront surtout les espèces à tolérance écologique	Température hivernale + / - Température estivale + / = Jours chauds + / - Température moyenne annuelle + / = Sécheresse + / = Précipitations hivernales - / NR Nombre de jours de gel - / = Nuits tropicales + / -	2) ; 3) ; 4) ; 5) ; 6) ; 7) ; 9) ; 10) ; 19) ; 20)

	limitée, notamment celles appréciant les milieux froids et humides et celles dont les capacités de migration sont limitées. Des déplacements se produiront aussi au sein des écosystèmes aquatiques, des zones humides et des écosystèmes forestiers. Les aires de distribution de nombreuses espèces animales et végétales se décalent progressivement vers le nord ou les zones plus montagneuses. Les espèces thermophiles migrent le long du fossé rhénan à partir de leurs zones méridionales d'origine (apparition p. ex. d'espèces de libellules méditerranéennes ; extension de l'aire de la libellule écarlate et de la mante religieuse ; immigration et prolifération d'espèces d'oiseaux thermophiles comme le guêpier d'Europe et la grande aigrette 10).		
Espèces exotiques envahissantes	<i>Explication :</i> Néophytes/néozoaires / néomycètes : implantation de nouvelles espèces et peuplements plus denses. <i>Réf. bibliographiques :</i> Luxembourg : le changement climatique favorise l'établissement de nouvelles espèces originaires d'Afrique du Nord et de régions orientales 7). Belgique : l'implantation de nouvelles espèces adaptées à un climat plus chaud aura des répercussions diverses sur les écosystèmes. Certaines espèces perturberont les écosystèmes ou les structures des espèces en place (par la concurrence qui en résultera sur les habitats ou l'alimentation). En même temps, les espèces provenant de zones/secteurs plus chauds comme les bâtiments et/ou les villes pourraient se répandre dans le milieu naturel et concurrencer ainsi les espèces indigènes 8). Allemagne : des conditions climatiques plus chaudes peuvent favoriser l'implantation et la propagation en Allemagne du moustique tigre originaire d'Asie. Si le taux d'infection pathogène de ce moustique augmente dans le même temps, le risque de transmission à l'homme ira également croissant. On note que le nombre d'œufs et de moustiques a sensiblement augmenté dans les pièges et les échantillonnages mis en place dans le bassin du Rhin supérieur, notamment entre 2012 et 2013 16). Sarre : les espèces de moustiques exotiques peuvent accélérer la propagation de maladies animales rares jusqu'à présent (par exemple la fièvre catarrhale) 10).	Température moyenne annuelle + / = Jours chauds + / - Température hivernale + / - Nombre de jours de gel - / = Nuits tropicales + / -	2) ; 3) ; 4) ; 5) ; 6) ; 7) ; 9) ; 19) ; 20)
Augmentation des organismes nuisibles indigènes	<i>Explication :</i> Extension des aires de distribution et formation de plusieurs générations d'organismes nuisibles indigènes ; réaction modifiée aux mesures phytosanitaires en agriculture. <i>Réf. bibliographiques :</i> Luxembourg : forte reproduction d'insectes et problèmes consécutifs pour la protection des plantes 7). Les projections climatiques régionales affichent une hausse de température de 1,6 ° pour la période comprise entre 2041 et 2050 et de 3,7 ° pour celle allant de 2091 à 2100 par rapport à la période de référence 1991-2000. Tendance positive de création de conditions favorables aux infections par la rouille du blé dans les zones analysées, par rapport à la période de référence 21). Charançon de la tige du chou, charançon de la tige du colza : on constate un démarrage plus précoce de l'apparition possible et une prolongation de la phase principale de migration de ces nuisibles dans le futur proche (2021 à 2050) et le futur éloigné (2069 à 2098) 22). Allemagne : par rapport à la période de référence (1961-1990), l'infestation par le charançon de la tige du colza commence sensiblement plus tôt (10 jours) au cours de la période 2021-2050 et 19 jours plus	Température moyenne annuelle + / = Jours chauds + / - Température hivernale + / - Température estivale + / = Nombre de jours de gel - / = Nuits tropicales + / -	2) ; 3) ; 4) ; 5) ; 6) ; 7) ; 9) ; 19) ; 20) ; 21)

	tôt au cours de la période 2069-2098. Les projections de colonisation du colza par ce charançon montrent que l'impact du réchauffement précoce sur la phénologie des plantes se manifeste sous forme d'une ponte plus précoce des œufs dans les pousses en phase de croissance, ce qui entraîne des dommages potentiels plus importants 23). Le bostryche typographe profite de conditions météorologiques sèches et chaudes et s'attaque en priorité aux arbres déjà abimés ou affaiblis. Les données d'infection collectées dans huit Länder fédéraux mettent clairement en relief que la quantité de bois endommagé est nettement supérieure à la moyenne pluriannuelle à la suite d'années de canicule et de sécheresse ainsi que de tempêtes. Les infections dues à la chenille processionnaire du chêne, espèce thermophile, sont en progression constante ces dernières années. Ce phénomène est mis en relation, entre autres, avec des conditions climatiques favorisant son développement. Ces attaques peuvent éventuellement être dommageables autant sous l'angle sanitaire que sylvicole. Dans le cas de la rouille brune, de l'oïdium et du méligèthe du colza, on estime que le changement climatique, qui se traduira par des hivers plus chauds et des printemps plus secs et plus chauds, stimulera les infections. L'évolution des nuisibles est cependant spécifique à chaque espèce. Il est encore impossible, sur la base des données actuelles, d'émettre des déclarations générales sur l'influence du climat sur la progression des infections 16). Sarre : certains signes laissent à penser que la recrudescence de nuisibles tels que le scolyte et le bombyx disparate peut être mise en relation avec le changement climatique. La sylviculture est touchée par la sécheresse et le risque croissant de maladies et d'attaques de nuisibles. Le changement climatique fait également augmenter le risque d'infections parasitaires et de maladies 10).		
Apparition de nouveaux agents pathogènes	<i>Explication :</i> Évolution des conditions de propagation de nouveaux agents pathogènes et de leurs vecteurs et, par conséquent, menace pour les plantes utiles et les animaux d'élevage (maladies transmises par vecteur). <i>Réf. bibliographiques :</i> Rhénanie-Palatinat : on ne savait pas jusqu'à présent que les moustiques indigènes pouvaient transmettre le virus de la fièvre catarrhale qui a manifestement trouvé ici un vecteur approprié 13). Europe : l'Europe pourrait se trouver confrontée à une augmentation d'épidémies/de maladies telles que des intoxications alimentaires provoquées par des eaux chaudes anaérobies et des maladies transmises par vecteur. Les maladies transmises par vecteur sont causées par des arthropodes tels que les tiques (encéphalite à tiques centre-européenne, borréliose de Lyme), les moustiques (p. ex. chikungunya, dengue, malaria, fièvre de la vallée du Rift) ou les phlébotomes (p. ex. leishmaniose viscérale). Des étés plus chauds et plus longs, des hivers plus chauds et une hausse des précipitations annuelles pourraient permettre à ces organismes poikilothermes de changer d'habitats et d'introduire éventuellement des maladies dans des zones où elles n'étaient jamais apparues jusqu'alors 17).	Température moyenne annuelle + / = Température hivernale + / - Jours chauds + / - Température estivale + / = Jours d'été + / NR Nuits tropicales + / - Nombre de jours de gel - / =	2) ; 3) ; 4) ; 5) ; 5) ; 6) ; 9) ; 19) ; 20)
Facteurs de développement d'agents pathogènes indigènes	<i>Explication :</i> Induits par le réchauffement et par le prolongement de la période végétative. <i>Réf. bibliographiques :</i> Rhénanie-Palatinat : la multiplication de certains vecteurs de maladies peut constituer une menace pour l'homme ; ainsi, les tiques ont augmenté de manière significative dans la forêt du Palatinat et en Hesse rhénane et sont actives plus longtemps sur l'année 13).	Température hivernale + / - Température estivale + / = Température moyenne annuelle + / = Nombre de jours de gel - / =	2) ; 3) ; 4) ; 5) ; 6) ; 9) ; 19) ; 20)

Modification des ressources disponibles en eau	<i>Explication :</i> Répercussions sur l'agriculture et la sylviculture ainsi que sur les écosystèmes des changements de répartition/variabilité des précipitations dans l'espace et le temps. <i>Réf. bibliographiques :</i> Luxembourg : la répartition saisonnière des précipitations a été marquée par une grande variabilité au cours des 130 dernières années. Augmentation de la fréquence des crues résultant de redistributions massives des précipitations en hiver et d'une hausse du débit journalier maximal en hiver 2). Bassin versant du Rhin : modification des débits de pointe : les projections affichent une augmentation pour Raunheim (Main), Trèves (Moselle), Cologne et Lobith, surtout pour le futur lointain. Pour le futur proche, les tendances sont moins prononcées ou font défaut (à l'exception de Raunheim). La marge d'incertitude des modèles augmente quand on passe du futur proche au futur éloigné. Les incertitudes vont croissantes de MHQ à HQ1000. Il est impossible de tirer de conclusions pour les stations dont le régime d'écoulement est caractérisé par des pointes de débit estivaux (p. ex. Bâle, Maxau et Worms). Une baisse des débits faibles est manifeste pour le futur éloigné, avec - 25 % à 0 % pour le NM7Q en été, alors qu'aucun signal net de modification du NM7Q ne peut être recensé pour l'hiver. Aucun signal clair ne ressort pour le FDC_Q90 (percentile 90 de la courbe de durée de débit) dans le futur éloigné. Quelques mesures font apparaître des baisses, d'autres ne mettent pas en évidence de tendance claire). Dans les affluents rhénans Main et Moselle, ces deux paramètres s'écartent de l'évolution exposée ci-dessus. Les marges de variation y sont généralement plus larges que celles des appareils de mesure installés sur le Rhin 20).	Précipitations hivernales + / = Précipitations estivales - / = Débit estival - / NR Débit hivernal + / NR Recharge de la nappe + / NR Neige - / - MoMQ (Sûre) hiver hydrologique + / NR MoMQ (Sûre) été hydrologique = / NR MoMHQ (Sûre) hiver hydrologique + / NR MoMHQ (Sûre) été hydrologique + / NR MoMNO (Sûre) hiver hydrologique + / NR MoMNO (Sûre) été hydrologique - / NR Écoulement des cours d'eau + / =	2) ; 3) ; 4) ; 5) ; 11) ; 12) ; 13) ; 14) ; 20)
Habitats humides menacés	<i>Explication :</i> Les habitats humides sont menacés par la baisse des précipitations en été et par les hausses de température. <i>Réf. bibliographiques :</i> Luxembourg : l'augmentation du stress de sécheresse subi par les plantes et les animaux met en péril les biocénoses dépendant des milieux humides. Même les biocénoses des eaux calmes et des eaux courantes peuvent être endommagées par des phénomènes de sécheresse ou de carence en oxygène 7).	Température hivernale + / - Température estivale + / = Jours chauds + / - Température annuelle + / = Sécheresse + / = Précipitations estivales - / NR	2) ; 3) ; 6) ; 11) ; 20)
Besoins croissants d'irrigation agricole	<i>Explication :</i> La recrudescence de périodes de canicule en été va faire augmenter les besoins d'irrigation agricole. <i>Réf. bibliographiques :</i> Luxembourg : en agriculture et en sylviculture, de même que dans les espaces libres et les espaces verts, le stress induit par la sécheresse se traduit par une demande accrue en irrigation et des coûts plus élevés 6). Belgique : la demande en eau va augmenter pendant l'été, en particulier si le recours à l'irrigation devient une pratique courante. Combinés à une baisse possible des précipitations, les étés secs et l'augmentation de l'évapotranspiration font faire baisser le niveau de la nappe souterraine de manière significative 14).	Température estivale + / = Jours chauds + / - Température moyenne annuelle + / = Sécheresse + / = Précipitations estivales - / =	2) ; 3) ; 4) ; 5) ; 12) ; 20)
Prolongation de la période végétative	<i>Explication :</i>	Température annuelle + / = Jours chauds + / -	2) ; 3) ; 4) ; 5) ; 6) ; 19) ; 20)

	Hausse du rendement agricole potentiel si l'approvisionnement en eau est suffisant et modifications de la phénologie et du comportement de reproduction. <i>Réf. bibliographiques :</i> Luxembourg : le nombre de jours de gel va s'abaisser de plus de 40 jours entre la période de référence (1971-2000) et la dernière décennie du siècle présent. Les nuits tropicales, que l'on ne rencontre pas dans la période de référence, s'élèvent jusqu'à 11 événements, ce qui représente une hausse significative du stress thermique au Luxembourg 19). Les projections modélisées montrent que la fréquence des dégâts dus au gel printanier va baisser dans la région viticole du Luxembourg 24). Allemagne : les modèles phénologiques reliés aux projections climatiques permettent également de s'exprimer sur d'autres modifications impactant le développement phénologique. Ainsi, des études montrent qu'une précocité du développement phénologique est à prévoir, notamment au printemps, d'ici la fin du siècle. Au plein printemps, il a été évalué que les dates de floraison de la pomme seront à nouveau avancées d'environ 15 jours. Par rapport à la période de référence 1961-1990, on constate pour la période suivante (1991-2015) que le printemps précoce démarre désormais déjà le 17.02 et est également quatre jours plus long que dans la période de référence. Le premier printemps (27.03) et le plein printemps (27.04) commencent également plus tôt 3). France : prolongation de la période végétative du sud vers le nord de la France, ce qui peut occasionner forte demande en irrigation 18). Rhénanie-Palatinat : on note surtout un démarrage beaucoup plus précoce de la végétation ici et là 13).	Température hivernale + / - Température estivale + / = Jours d'été + / NR Offre en CO₂ + / = Nuits tropicales + / - Nombre de jours de gel - / =	
Modification du rendement potentiel	<i>Explication :</i> Une concentration de CO₂ plus élevée et une prolongation de la période végétative modifient les potentialités de rendement. <i>Réf. bibliographiques :</i> Luxembourg : les projections modélisées montrent que la fréquence des dégâts dus au gel printanier va baisser dans la région viticole du Luxembourg 24). On analyse les répercussions d'une modification de la température de l'air sur les cépages à l'aide de l'indice de Huglin, qui classe les différentes variétés de raisins selon leurs besoins minimaux en chaleur. Les analyses montrent, sous forme de tendance statistiquement significative, la possibilité de cultiver à l'avenir des cépages exigeant des températures plus élevées. Les températures en hausse se traduiront par un apport en sucre plus important et une acidité plus faible dans les vins 22). Les analyses de données disponibles montrent qu'on disposait rarement des conditions climatiques permettant la maturation optimale des cépages existants dans la vallée amont de la Moselle (à l'exception des sites les plus favorables) dans les années 70 et 80 du siècle dernier. Le temps total de chaleur nécessaire à la culture et à la maturation complète des cépages bourguignons et du Riesling n'a été atteint ou dépassé dans la plupart des années de la dernière décennie qu'avec la hausse significative des températures de l'air (d'environ 2 °C pendant la période végétative de la première décennie du nouveau millénaire par rapport aux années 1970). On le constate à une nette hausse des densités de moût et baisse des teneurs moyennes en acidité totale. En outre, le risque de gelées tardives a baissé en tendance au cours des dernières décennies. En termes de qualité du vin et de risque de pertes de	Température annuelle + / = CO₂-Net-Primary-Production (NPP) + = Dates de floraison plus précoces + / NR Nuits tropicales + / - Nombre de jours de gel - / =	1) ; 2) ; 3) ; 4) ; 5) ; 6) ; 19) ; 20)

	rendement imputables au gelées tardives, les modifications des conditions de température constatées au cours des dernières décennies peuvent être jugées majoritairement positives pour la viticulture sur le cours amont de la Moselle 25). Belgique : le CO₂ améliore l'utilisation efficace de l'eau dans les plantes et la hausse de la température a un impact positif sur la végétation (p. ex. le maïs). La hausse de la concentration de CO₂ dans l'atmosphère accélère la croissance forestière 8).		
Augmentation des événements météorologiques extrêmes	<i>Explication :</i> L'augmentation potentielle des précipitations intenses, la hausse des précipitations en hiver (crues) et des phases prolongées de sécheresse et d'aridité en été entraînent des pertes de rendement agricole. <i>Réf. bibliographiques :</i> Luxembourg : une érosion des sols et des glissements de terrain peuvent également se produire et impacter l'agriculture, les infrastructures ou les agglomérations urbaines 6). Bassin versant du Rhin : modification des débits de pointe : les projections affichent une augmentation pour Raunheim (Main), Trèves (Moselle), Cologne et Lobith, surtout pour le futur lointain. Pour le futur proche, les tendances sont moins prononcées ou font défaut (à l'exception de Raunheim). La marge d'incertitude des modèles augmente quand on passe du futur proche au futur éloigné. Les incertitudes vont croissantes de MHQ à HQ1000. Il est impossible de tirer de conclusions pour les stations dont le régime d'écoulement est caractérisé par des pointes de débit estivaux (p. ex. Bâle, Maxau et Worms) 20).	Température estivale + / = Jours chauds + / - Température moyenne annuelle + / = Sécheresse + / = Précipitations hivernales + / = Précipitations estivales - / = Jours d'été + / NR Nuits tropicales + / -	2) ; 3) ; 4) ; 5) ; 6) ; 11) ; 20)
Modification de la phénologie / du comportement de reproduction	<i>Explication :</i> En raison du prolongement de la période végétative, la phénologie et le comportement de reproduction se modifient. <i>Réf. bibliographiques :</i> Allemagne : par rapport à la période de référence (1961-1990), l'infestation par le charançon de la tige du colza commence sensiblement plus tôt (10 jours) au cours de la période 2021-2050 et 19 jours plus tôt au cours de la période 2069-2098. Les projections de colonisation du colza par ce charançon montrent que l'impact du réchauffement précoce sur la phénologie des plantes se manifeste sous forme d'une ponte plus précoce des œufs dans les pousses en phase de croissance, ce qui entraîne des dommages potentiels plus importants 23). Le début du printemps, de l'été et de l'automne phénologiques s'est avancé dans le cycle annuel au cours des 61 dernières années. L'hiver est nettement plus court, le début de l'automne nettement plus long. Ces modifications expriment la capacité d'adaptation des plantes au climat en mutation mais peuvent également avoir des conséquences à long terme sur la biodiversité et aller jusqu'à mettre en péril certaines espèces animales et végétales 16). Sarre : les oiseaux migrateurs reviennent de leurs quartiers d'hiver jusqu'à trois semaines plus tôt qu'il y a 30 ans. Parallèlement, les oiseaux présentent des comportements modifiés : des migrateurs sont devenus des migrateurs partiels, des migrateurs partiels sont devenus des oiseaux sédentaires qui séjournent toute l'année sur leurs sites de nidification et ne migrent plus du tout 16). L'évolution des températures et des précipitations et la fréquence accrue d'événements extrêmes auront des répercussions sur le cycle biologique annuel, le comportement, la reproduction, les rapports de	Température hivernale + / - Température estivale + / = Jours chauds + / - Température annuelle + / = Sécheresse + / = Précipitations estivales - / NR Nuits tropicales + / - Nombre de jours de gel - / =	2) ; 3) ; 4) ; 5) ; 6) ; 10) ; 15) ; 19) ; 20)

	concurrence et le mode d'alimentation de certaines espèces. Il en résultera des déplacements d'aires de distribution d'espèces et d'écosystèmes, qui affecteront surtout les espèces à tolérance écologique limitée, notamment celles appréciant les milieux froids et humides et celles dont les capacités de migration sont limitées. Des déplacements se produiront aussi au sein des écosystèmes aquatiques, des zones humides et des écosystèmes forestiers 10). Rhénanie-Palatinat : la phénologie des oiseaux migrateurs et leur comportement de couvaison (p. ex. ponte plus précoce des mésanges charbonnières) sont également en pleine mutation 13). Belgique : les évolutions phénologiques de certaines espèces dues au climat perturbent les interactions entre les espèces. Si p. ex. la période de floraison d'une plante particulière et l'apparition du pollinisateur requis n'ont pas lieu simultanément, les deux espèces, plante comme pollinisateur, sont menacées 15).		
Augmentation des dommages forestiers abiotiques	<i>Explication</i> : On entend par dommages forestiers abiotiques les dégâts provoqués par la chaleur, le gel, la neige et la glace, la tempête ou le feu. <i>Réf. bibliographiques</i> : Luxembourg : la hausse des précipitations, notamment en hiver, aggrave les situations de crue dans les vallées fluviales. Sont surtout concernées ici, en plus de la navigation, l'agriculture et la sylviculture, les activités de loisir et de détente, de même que les infrastructures telles que les routes, les voies ferrées, les lignes électriques et les équipements de télécommunication. 1). Augmentation du phénomène de déracinage par le vent 4).	Précipitations intenses + / = Tempêtes + / NR Crues + / NR Sécheresse + / = Jours chauds + / - Déracinement par le vent + / NR	2) ; 8) ; 4)
Augmentation du risque de feux de forêt	<i>Explication</i> : La plus grande fréquence de périodes de canicule et de sécheresse fait augmenter le risque de feux de forêt. <i>Réf. bibliographiques</i> : Luxembourg : augmentation de la fréquence et de la durée des périodes de sécheresse 2). Sarre : augmentation du risque de feux de forêt 10).	Seasonal Severity Rating (SSR) + / + Température annuelle + / = Sécheresse + / = Jours d'été + / o Nuits tropicales + / -	1) ; 2) ; 3) ; 4) ; 6) ; 19) ; 20)

Bibliographie : 1) www.eea; 2) OECD 2013 ; 3) DWD 2016 ; 4) Ministerium für Inneres und Sport des Saarlandes 2012 ; 5) Le gouvernement du Grand-Duché de Luxembourg 2015 ; 6) Ministère du Développement durable et des Infrastructures 2012 ; 7) Ministère du Développement durable et des Infrastructures 2011a ; 8) National Climate Commission 2010 ; 9) Baguis et al. 2009 ; 10) Ministerium für Umwelt Saarland 2008 ; 11) Ntegeka et al. 2009 ; 12) Gellens & Roulin 1998 ; 13) Ministerium für Umwelt, Forst und Verbraucherschutz Rheinland-Pfalz 2007 ; 14) d'Ieteren et al. 2004 ; 15) Gagnon-Lebrun & Agrawala 2006 ; 16) Umweltbundesamt 2015 ; 17) <http://eoedu.belspo.be/en/profs/vgt-europe-diseases.asp?section=1.3.4> ; 18) Observatoire national sur les effets du réchauffement climatique 2007 ; 19) Junk et al. 2013 ; 20) Görden et al. 2010 ; 21) Junk et al. 2015c ; 22) Junk et al. 2011 ; 23) Eickermann et al. 2012 ; Junk et al. 2012 ; 2014 ; 2015a, b 24) Molitor et al. 2014a ; 25) Molitor et al. 2014b.

2.2.2. Pédosphère

Le sol ne joue pas uniquement un rôle essentiel pour la production d'aliments, il assume également d'autres fonctions importantes

- dans le cycle des nutriments,
- dans le processus de stockage géologique du carbone,
- comme filtre et tampon de pollutions,
- dans la mitigation des inondations grâce aux surfaces de rétention des eaux ou
- comme espace de vie pour une multitude de microorganismes.

Ces fonctions dépendent du climat du sol, et celui-ci est lui-même influencé par les impacts du changement climatique, comme p. ex. les hausses de température ou les modifications du régime des précipitations.

Une hausse de 3 °C à 6 °C de la température moyenne annuelle du sol à une profondeur de 50 cm d'ici la fin du siècle est susceptible d'entraîner une prolongation de la fenêtre biologique en Europe centrale. Cette fenêtre biologique correspond à une température du sol supérieure à 8 °C à 50 cm de profondeur et à un milieu au moins partiellement humide (Trnka et al., 2013). Dans ces conditions, les processus de minéralisation dans les sols s'accéléreront et les matières organiques du sol se dégraderont dans une plus grande mesure. Il n'en résultera pas uniquement une augmentation des émissions de gaz à effet de serre mais également des répercussions négatives sur la fertilité des sols (APCC, 2014) et sur les capacités de rétention des eaux dans les sols.

En outre, la variabilité de la fenêtre biologique au cours de l'année augmentera sensiblement, notamment sous l'effet de la variabilité croissante des précipitations. Une augmentation des jours caractérisés soit par des profils de sol absolument secs soit par des débits surélevés est à prévoir, ce qui aggravera les processus érosifs en Europe dans un ordre de grandeur de 10 à 15 % d'ici le milieu du siècle (Panos, 2015).

Des températures de l'air et/ou du sol surélevées ont par ailleurs des impacts sur les phytocénoses et par conséquent sur la structure des communautés d'organismes vivant dans le sol. Les modifications de croissance racinaire peuvent aussi faire baisser la stabilité des sols et favoriser l'érosion des sols (APCC, 2014).

Parallèlement, les événements pluvieux intenses et les tempêtes s'intensifient sous l'effet du changement climatique, faisant peser sur les sols du Grand-Duché une menace d'érosion plus intense. Comparé à l'érosion des terres arables des autres pays européens, le taux de perte de sol du Luxembourg est le troisième plus important d'Europe avec 4,54 t ha⁻¹ yr⁻¹ (Panos, 2015), ce qui est dû entre autres à l'érodibilité des sols de loess prédominants au Luxembourg. Dans ce contexte, la capacité du sol à retenir les eaux gagne en importance comme moyen de lutte contre l'érosion provoquée par le ruissellement des eaux. Cette capacité de rétention est

cependant altérée par le compactage des sols (dû p. ex. à l'utilisation de machines lourdes sur des terrains humides) ou par la baisse de matière organique (p. ex. dans les monocultures), de même que par l'imperméabilisation des surfaces. L'urbanisation de surfaces en herbe réduit la capacité de rétention d'eau du sol de 10 %. Par ailleurs, l'imperméabilisation des surfaces entrave l'évaporation, phénomène qui contribue de manière déterminante à atténuer la chaleur en été. Ici, les mesures de protection du sol sont surtout appropriées dans le secteur agricole. On peut également évoquer dans ce contexte la demande croissante en irrigation agricole qui peut engendrer des problèmes de salinisation du sol.

En regard notamment à l'augmentation potentielle d'épisodes de pluies intenses, les sols offrent une protection importante contre les inondations grâce à leur fonction de rétention. Il convient cependant de rappeler que la ressource en sol du Luxembourg est soumise à une forte emprise due au compactage et à l'imperméabilisation des surfaces. Ainsi, la consommation foncière journalière est de 1,3 ha (Le gouvernement du Grand-Duché de Luxembourg, 2010 ; données de 2006). Cette consommation foncière est définie comme un des défis majeurs dans le rapport de mise en œuvre du *Plan National pour un Développement Durable (PNDD) du Luxembourg* de 2010 (Le gouvernement du Grand-Duché de Luxembourg, 2010). Dans la perspective du changement climatique, une attention renforcée doit être accordée aux questions de consommation foncière élevée et de surexploitation des sols.

Les impacts du changement climatique sur la pédosphère au Luxembourg et dans les pays voisins sont présentés et expliqués dans le *Tableau 6*. Y est également présentée l'évolution de quelques indicateurs significatifs pour des impacts climatiques particuliers, et ce d'une part pour le Luxembourg et d'autre part en comparaison avec la moyenne européenne.

Tableau 6 : Impacts du changement climatique sur la pédosphère

Légende : « + », « = » ou « - » comme premier signe : Augmentation, constance ou baisse de l'indicateur concerné au Luxembourg au cours du siècle présent. « + », « = » ou « - » comme second signe : modification plus forte, égale ou plus faible au Luxembourg que la moyenne européenne (www.eea.europa.eu/data-and-maps, www.atlas.impact2c.eu/en/). NR : pas de comparaison possible sur la base de la bibliographie analysée.

Impact climatique	Explication	Indicateurs significatifs Évolution	Bibliographie
Accélération des processus de transformation (dans les sols)	<i>Explication :</i> Modification des paramètres du sol. <i>Réf. bibliographiques :</i> Luxembourg : la hausse de concentration de matières organiques dans le sol entraîne une acidification et une perte de nutriments 1).	Température hivernale + / - Température estivale + / = Jours chauds + / - Température moyenne annuelle + / =	2) ; 3) ; 4) ; 5) ; 6) ; 7) ; 12)
Érosion accrue du sol	<i>Explication :</i> L'intensification potentielle des épisodes de fortes pluies se traduit par une érosion accrue du sol. <i>Réf. bibliographiques :</i> Luxembourg : une érosion des sols et des glissements de terrain peuvent également se produire et impacter l'agriculture, les infrastructures ou les agglomérations urbaines 6). Allemagne : les pluies de forte intensité aggravent le risque d'érosion. L'érosivité des pluies estivales a augmenté de manière significative en Rhénanie-du-Nord-Westphalie depuis les années 1970 11). Rhénanie-Palatinat : l'érosivité des précipitations est la composante climatique permettant de mesurer le risque d'érosion par l'eau. En raison de l'augmentation déjà observée de la fréquence et de l'intensité de ces précipitations, l'intensification prévue des précipitations intenses est vue comme le facteur déterminant générant un risque accru d'érosion par l'eau à l'avenir. Ces précipitations peuvent même, dans des cas extrêmes, déclencher des coulées de boue sur les terrains en pente. À ceci s'ajoute le fait que les périodes sèches prolongées, dont la probabilité d'apparition augmente, favorisent l'érosion par le vent 9).	Tempêtes + / NR Crues + / NR Sécheresse + / = Précipitations intenses + / =	6) ; 8) ; 3)
Altération de la fertilité, de la structure et de la stabilité du sol	<i>Explication :</i> L'augmentation des précipitations intenses ou des périodes de sécheresse conduit à une modification de la structure et de la stabilité du sol. Il est à craindre que les rendements agricoles en soient altérés. <i>Réf. bibliographiques :</i> Luxembourg : détérioration de la qualité de l'eau en raison de l'intensification des épisodes pluvieux (augmentation de l'érosion, infiltration rapide dans les eaux souterraines) et du décalage dans le temps du processus de recharge des eaux souterraines 7). Augmentation de la fréquence des crues résultant de redistributions massives des précipitations en hiver et d'une hausse du débit journalier maximal en hiver. La hausse des précipitations, notamment en hiver, aggrave les situations de crue dans les vallées fluviales. Sont surtout concernées ici, en plus de la navigation, l'agriculture et la sylviculture, les activités de loisir et de détente, de même que les infrastructures 6).	Tempêtes + / NR Crues + / NR Sécheresse + / = Jours chauds + / - Déracinement par le vent + / NR Précipitations intenses + / = Débit - / NR	1) ; 6) ; 7) ; 8) ; 19)

	Allemagne : il est déterminant pour le développement des plantes que les réserves en eau du sol soient suffisantes. La sous-alimentation comme la suralimentation en eau pendant les phases critiques de développement peuvent avoir un impact négatif sur les rendements des cultures agricoles. Au cours des 40 dernières années, on constate autant sur les sols légers que sur les sols lourds une tendance significative à la baisse des réserves en eau du sol pendant la période végétative. Les pluies de forte intensité aggravent le risque d'érosion. L'érosivité des pluies estivales a augmenté de manière significative en Rhénanie-du-Nord-Westphalie depuis les années 1970. 11)		
--	---	--	--

Bibliographie : 1) Ministère du Développement durable et des Infrastructures 2011a ; 2) Le gouvernement du Grand-Duché de Luxembourg 2015 ; 3) Ministerium für Inneres und Sport des Saarlandes 2012 ; 4) Baguis et al. 2009 ; 5) DWD 2016 ; 6) Ministère du Développement durable et des Infrastructures 2012 ; 7) OECD 2013 ; 8) National Climate Commission 2010 ; 9) Ministerium für Umwelt, Forst und Verbraucherschutz Rheinland-Pfalz 2007 ; 10) Gellens & Roulin 1998 ; 11) Umweltbundesamt 2015 ; 12) Görgen et al. 2010.

2.2.3. Hydrosphère

L'utilisation de l'eau au Luxembourg se résume de la manière suivante (Le gouvernement du Grand-Duché de Luxembourg, 2015) :

- Les eaux souterraines et les eaux de surface (lac de barrage de la Haute-Sûre) jouent un rôle essentiel dans l'approvisionnement en eau potable du Luxembourg. En termes statistiques, un ménage luxembourgeois consomme en moyenne 150 litres d'eau potable par jour. En réalité, cette consommation n'est que d'environ 137 litres. La valeur nominale plus élevée est imputable au nombre important de frontaliers (env. 160 000) qui travaillent au Luxembourg et qui contribuent à la consommation d'eau potable sans pour autant entrer dans le calcul de la consommation moyenne. La consommation d'eau des ménages (24 602 141 m³ en 2012) est nettement plus élevée que celle de l'agriculture et de l'industrie (facteur supérieur à 10). En règle fondamentale, on peut partir de l'hypothèse que la demande en eau potable continuera à augmenter d'ici 2024. A l'heure actuelle, on compte 242 stations d'épuration urbaines de capacités épuratoires diverses. Pour la moitié environ, il s'agit de très petites stations construites il y a plus de 30 ans et uniquement équipées d'une phase d'épuration mécanique. Il en découle que de nombreux tronçons de cours d'eau du Luxembourg sont pollués par des eaux insuffisamment épurées.
- Les deux principales usines hydroélectriques du Luxembourg sont celles d'Esch-sur-Sûre et de Vianden. Le barrage d'Esch-sur-Sûre couvre environ la moitié de la demande nationale en eau potable et produit parallèlement une petite quantité d'électricité. La centrale d'accumulation par pompage de Vianden (sur l'Our) produit et fournit de l'électricité pendant les heures de consommation de pointe. La plus grande partie de la production d'électricité du Luxembourg provient de cette installation dont la puissance installée est de 1 100 MWh. Il existe également quatre centrales au fil de l'eau de taille moyenne sur la Moselle (Grevenmacher-Wellen, Stadtbredimus-Palzem, Schengen-Apach) et sur la Sûre (Rosport), constituant au total une puissance installée de plus de 33,5 MWh. La centrale au fil de l'eau d'Ettelbruck (sur l'Alzette) est l'une des usines hydroélectriques les plus importantes. Une trentaine d'autres petites usines hydroélectriques alimentent le réseau national d'électricité ou sont exploitées à des fins privées.
- Le Luxembourg est traversé par la Moselle, une des voies de navigation fluviale les plus fréquentées d'Europe.

Les activités mentionnées et leurs répercussions écologiques resteront également des sujets centraux de la gestion des eaux dans les conditions qu'amènera le changement climatique. Il est à signaler que la partie septentrionale et la partie méridionale du pays, prises individuellement, sont confrontées à des défis très différents.

L'espace naturel de l'Oesling s'étend sur la moitié nord du pays et est densément boisé. Les précipitations abondantes et la faible capacité de rétention en eau des sols favorisent des épisodes de crues fréquents ainsi que des débits d'étiage extrêmement faibles pendant les périodes de faibles pluies. Les seuls aquifères économiquement exploitables sont les quartzites de Berlé (exploitation > 10 m³/jour).

L'espace naturel du Gutland couvre la moitié sud du pays. Ici, la période végétative varie de 160 à 190 jours. La forte densité de population et l'agriculture régionalement très intensive (surtout l'élevage) se traduisent dans certaines zones du Gutland par de fortes concentrations en matières organiques et en nutriments. Le Gutland recèle quelques aquifères exploitables. Avec un bassin versant total de 28 286 km² et un débit moyen de 328 m³/s, la Moselle est la plus grande rivière du pays. La quantité d'eau potable consommée est très variable, en particulier dans la ville de Luxembourg (navetteurs : hausse de 30 % de la consommation en semaine). A ceci s'ajoutent 30 % supplémentaires au cours des premiers mois de l'été pour les besoins de climatisation et les piscines privées. Environ la moitié de l'eau potable proviennent des eaux souterraines et majoritairement des masses d'eau souterraine du Lias inférieur. Une densité régionalement surélevée de bétail et des pratiques culturelles non adaptées et non durables sont des facteurs qui influent considérablement sur la qualité des eaux.

Du fait des hausses de température et des modifications du régime des précipitations qu'il provoque, le changement climatique a des répercussions sur l'hydrosphère. On estime certes que les quantités annuelles de précipitations, qui sont actuellement de l'ordre de 830 mm, ne se modifieront pas sensiblement. On s'attend toutefois à des hivers plus pluvieux et des étés plus secs. Par ailleurs, on prévoit que les précipitations intenses augmenteront, autant en fréquence qu'en intensité. Par manque de neige, la fonction de réservoir tampon de celle-ci disparaîtra. Les niveaux d'étiage et les phases de sécheresse seront plus marqués.

Dans ce contexte, il est nécessaire de réévaluer les usages et les interventions dans les rivières tels que la navigation, la production hydroélectrique, la protection contre les inondations, les apports de substances et les rejets thermiques. La hausse de la température de l'eau est due à l'augmentation de la température de l'air et elle est encore renforcée par la baisse des débits. On estime par exemple que le nombre de jours de l'année où seront dépassés les 25 °C passera de 11 à 64, voire même à 74, dans le Rhin d'ici la fin du siècle. Dans le même temps, la température de l'eau ne descendra plus au-dessous de 3° C. Les espèces thermophiles, et parmi elles de nombreuses espèces néobiotiques, macrozoobenthiques, piscicoles et macrophytiques originaires des zones d'embouchure, verront leurs conditions de vie améliorées et pourront coloniser les cours fluviaux vers l'amont. En plus du stress provoqué par l'exposition accrue à la chaleur, les écosystèmes souffriront également des pressions causées par les apports de polluants, de nutriments, de substances toxiques et de sédiments drainés par les inondations et l'érosion.

Un effet positif sur les eaux est attendu du remplacement des stations d'épuration mécaniques par des stations biologiques et de l'adaptation de la capacité des milieux récepteurs. La baisse de la consommation d'eau dans l'industrie sidérurgique aura également un impact positif sur l'état des eaux de surface. Des mesures supplémentaires seront nécessaires dans les domaines du traitement des eaux usées, de l'hydromorphologie et de l'agriculture pour que de nombreuses masses d'eau de surface atteignent le bon état écologique.

Les impacts du changement climatique sur l'hydrosphère au Luxembourg et dans les pays voisins sont présentés et expliqués dans le *Tableau 7*. Y est également présentée l'évolution de quelques indicateurs significatifs pour des impacts climatiques particuliers, et ce d'une part pour le Luxembourg et d'autre part en comparaison avec la moyenne européenne.

Tableau 7 : Impacts du changement climatique sur l'hydrosphère

Légende : « + », « = » ou « - » comme premier signe : Augmentation, constance ou baisse de l'indicateur concerné au Luxembourg au cours du siècle présent. « + », « = » ou « - » comme second signe : modification plus forte, égale ou plus faible au Luxembourg que la moyenne européenne (www.eea.europa.eu/data-and-maps, www.atlas.impact2c.eu/en/). NR : pas de comparaison possible sur la base de la bibliographie analysée.

Impact climatique	Explication	Indicateurs significatifs Évolution	Bibliographie
Modification des ressources disponibles en eau	<i>Explication :</i> La modification de la répartition des précipitations dans l'espace et le temps modifie les ressources disponibles en eau. <i>Réf. bibliographiques :</i> Luxembourg : la répartition saisonnière des précipitations s'est caractérisée par une grande variabilité au cours des 130 dernières années 1). Bassin versant du Rhin : débit annuel moyen de la station de mesure de Raunheim : on attend pour le futur proche des augmentations pour Kaub, Cologne et Lobith (de 0 % à +15 %) ; pour le futur lointain, aucune autre tendance en relation avec des modifications diverses en hiver et en été n'est identifiée. En termes quantitatifs, le débit moyen en hiver augmente de 0 % à +25 % dans le futur proche et de +5 % à +40 % dans le futur lointain ; en été, les tendances attendues sont variables mais ceci uniquement dans le futur lointain (diminution de 30 % à 5 % à l'exception de Raunheim). Dans le futur lointain, le mois marqué par le plus bas débit et celui caractérisé par le plus haut débit apparaîtront plus tôt. Une baisse des débits faibles est manifeste pour le futur éloigné, avec - 25 % à 0 % pour le NM7Q en été, alors qu'aucun signal net de modification du NM7Q ne peut être recensé pour l'hiver. Aucun signal clair ne ressort pour le FDC_Q90 (percentile 90 de la courbe de durée de débit) dans le futur éloigné. Quelques mesures font apparaître des baisses, d'autres ne mettent pas en évidence de tendance claire). Dans les affluents rhénans Main et Moselle, ces deux paramètres s'écartent de l'évolution exposée ci-dessus. Les marges de variation y sont généralement plus larges que celles des appareils de mesure installés sur le Rhin 15). Belgique : pour les précipitations, on observe en Région bruxelloise une augmentation d'environ 7 % des cumuls annuels (et d'environ 15 % des cumuls hivernaux et printaniers) entre le début des relevés en 1833 et la fin du 20^e siècle. Par ailleurs, les relevés de la plupart des stations climatiques de Belgique font apparaître sur les 50 dernières années une tendance significative ou très significative à la hausse de précipitations annuelles extrêmes s'étendant sur plusieurs jours, ce que l'on n'observe habituellement qu'en hiver 13).	Précipitations hivernales + / = Précipitations estivales - / = Débit estival - / NR Débit hivernal + / NR Recharge de la nappe + / NR Neige - / - MoMQ (Sûre) hiver hydrologique + / NR MoMQ (Sûre) été hydrologique = / NR MoMHQ (Sûre) hiver hydrologique + / NR MoMHQ (Sûre) été hydrologique + / NR MoMNO (Sûre) hiver hydrologique + / NR MoMNO (Sûre) été hydrologique - / NR Écoulement des cours d'eau + / =	1) ; 2) ; 3) ; 4) ; 6) ; 7) ; 8) ; 9) ; 10) ; 15)
Qualité des eaux menacée	<i>Explication :</i> La qualité des eaux stagnantes est menacée d'une part par les périodes de chaleur plus intenses en été et d'autre part par les inondations en hiver. <i>Réf. bibliographiques :</i> Luxembourg : sous l'impact du changement climatique, la dégradation de la qualité de l'eau consommée par l'Homme constitue un risque sanitaire. En outre, une baisse des débits des cours d'eau et une hausse	Température hivernale + / - Température estivale + / = Jours chauds + / - Température annuelle + / = Précipitations hivernales + / = Neige - / - Sécheresse + / = Précipitations estivales - / NR	1) ; 3) ; 4) ; 5) ; 6) ; 9) ; 10) ; 11) ; 15)

	des températures pourraient favoriser la croissance des algues et des microorganismes toxiques dans les lacs et les rivières 12).		
Hausse de température des eaux stagnantes	<i>Explication :</i> La hausse de température dans les eaux stagnantes menace la qualité des eaux (voir également l'impact climatique <i>Mise en danger de la qualité des eaux</i>). <i>Réf. bibliographiques :</i> Luxembourg : sous l'impact du changement climatique, la dégradation de la qualité de l'eau consommée par l'Homme constitue un risque sanitaire. En outre, une baisse des débits des cours d'eau et une hausse des températures peuvent favoriser la croissance des algues et des microorganismes toxiques dans les lacs et les fleuves 12).	Température estivale + / = Jours chauds + / - Température annuelle + / = Sécheresse + / = Précipitations estivales - / NR Débit - / NR	1) ; 2) ; 4) ; 5) ; 6) ; 11) ; 15)
Hausse de température des eaux courantes	<i>Explication :</i> La plus grande fréquence des périodes de canicule peut provoquer une hausse des températures des eaux courantes, des lacs et des eaux souterraines et avoir des répercussions sur les paramètres chimiques et écologiques. <i>Réf. bibliographiques :</i> Luxembourg : quand la température des cours d'eau augmente et quand les débits baissent, la qualité de l'eau s'altère (l'eau disponible n'est pas suffisante pour diluer suffisamment les polluants et le manque d'oxygène nuit à la faune piscicole) 12).	Température estivale + / = Jours chauds + / - Température annuelle + / = Sécheresse + / = Précipitations estivales - / NR Débit - / NR	1) ; 2) ; 4) ; 5) ; 6) ; 11)
Plus grande variabilité des précipitations	<i>Explication :</i> L'évolution de la répartition des précipitations, p. ex. celles dues aux orages estivaux et aux épisodes pluvieux intenses, dans l'espace et le temps, fait augmenter la variabilité des précipitations. <i>Réf. bibliographiques :</i> Luxembourg : la répartition saisonnière des précipitations a été marquée par une grande variabilité au cours des 130 dernières années. Augmentation de la fréquence des crues résultant de redistributions massives des précipitations en hiver et d'une hausse du débit journalier maximal en hiver 1).	Sécheresse + / = Précipitations estivales - / NR Débit - / NR Précipitations intenses + / = Précipitations hivernales + / = Recharge de la nappe + / NR	1) ; 2) ; 3) ; 6) ; 15)
Augmentation des dommages provoqués par les événements extrêmes	<i>Explication :</i> Cette augmentation est due à la plus grande fréquence potentielle des inondations, des tempêtes et également des périodes de canicule. <i>Réf. bibliographiques :</i> Luxembourg : la hausse des précipitations, notamment en hiver, aggrave les situations de crue dans les vallées fluviales. Sont surtout concernées ici, en plus de la navigation, l'agriculture et la sylviculture, les activités de loisir et de détente, mais aussi les infrastructures telles que les routes, les voies ferrées, les lignes électriques et les équipements de télécommunication. En milieu urbain, les bâtiments peuvent être endommagés et les entrepôts de substances dangereuses pour les eaux, comme le mazout p. ex., peuvent provoquer des pollutions environnementales 5). France : on constate globalement que l'intensification du cycle de l'eau fait augmenter le risque d'inondation au printemps et en hiver ainsi que la durée des étiages en juin/juillet et en octobre/novembre 14).	Précipitations hivernales + / = Précipitations estivales - / = Précipitations intenses + / = Crues + / NR Écoulement des cours d'eau + / =	1) ; 2) ; 4) ; 5) ; 10)

Augmentation des périodes de sécheresse	<i>Explication :</i> Risque de pénurie d'approvisionnement dans les zones temporairement déficitaires en eau. <i>Réf. bibliographiques :</i> Luxembourg : augmentation de la fréquence et de la durée des périodes de sécheresse 1). Rhénanie-Palatinat : les jours printaniers extrêmement chauds sont beaucoup plus fréquents en Rhénanie-Palatinat et les jours exceptionnellement froids plus rares. Les jours extrêmement chauds sont également plus fréquents en été sur tout le territoire du Land. Par contre, les jours exceptionnellement froids ne sont nettement plus rares que dans la partie occidentale de la Rhénanie-Palatinat et leur probabilité d'occurrence reste plutôt inchangée dans le reste du Land 10).	Sécheresse + / =	1) ; 2) ; 3) ; 4) ; 5) ; 6)
Augmentation de la demande en eau	<i>Explication :</i> La plus grande fréquence des périodes de sécheresse fait augmenter la demande en eau dans différents secteurs. <i>Réf. bibliographiques :</i> Belgique : la demande en eau va augmenter pendant l'été, en particulier si le recours à l'irrigation devient une pratique courante. Combinés à une baisse possible des précipitations, les étés secs et l'augmentation de l'évapotranspiration vont faire baisser le niveau de la nappe souterraine de manière significative 13) ; 14).	Jours chauds + / - Température estivale + / = Sécheresse + / = Précipitations estivales - / = Nuits tropicales + / -	1) ; 4) ; 5) ; 6) ; 8) ; 15)
Modification de la répartition saisonnière des précipitations	<i>Explication :</i> Les projections climatiques font apparaître une diminution des précipitations en été et une augmentation en hiver. <i>Réf. bibliographiques :</i> Luxembourg : augmentation de la fréquence des crues résultant de redistributions massives des précipitations en hiver et d'une hausse du débit journalier maximal en hiver. La répartition saisonnière des précipitations a été marquée par une grande variabilité au cours des 130 dernières années 1). Bassin de la Moselle et de la Sarre : évolution des précipitations sur la période 2021-2050 (période de référence 1971-2000) : alors que les étés seront plus secs à l'avenir, les précipitations augmenteront pendant les hivers hydrologiques 6). Allemagne : les analyses des précipitations journalières en hiver mettent en évidence pour la période 1951-2006 une augmentation de 25 % des jours marqués par des volumes de précipitations élevés. Cette augmentation se manifeste dans toutes les régions de l'Allemagne. En tendance, les précipitations printanières et automnales sont en légère hausse. Sur 135 ans, on note une augmentation du volume des précipitations annuelles de 11 % au printemps, à l'automne et en hiver mais pas en été, ce qui laisse supposer un début plus précoce et une fin plus tardive de la période des précipitations convectives et, en même temps, une plus grande intensité des fortes pluies 4). Belgique : les projections régionales réalisées pour la Belgique prévoient pour la période 2071-2100 (période de référence 1961-1990) une augmentation maximale des précipitations hivernales pouvant atteindre 60 % et une baisse maximale des précipitations estivales allant jusqu'à 70 % 3).	Sécheresse + / = Précipitations estivales - / NR Débit - / NR Précipitations intenses + / = Précipitations hivernales + / = Recharge de la nappe + / NR	1) ; 3) ; 4) ; 9) ; 10) ; 15)

	Rhénanie-Palatinat : tous les scénarios d'avenir considérés partent d'une poursuite des tendances observées en Rhénanie-Palatinat, c'est-à-dire d'une augmentation des volumes de précipitations en hiver et d'une diminution des apports pluviaux moyens en été 10). Sarre : en Sarre, les étés seront plus secs (d'ici la fin du siècle avec une baisse de 15 à 40 % des volumes moyens des précipitations et un recul maximal possible de plus de 50 %) ; les hivers sarrois seront plus humides (volumes moyens des précipitations en hausse de 5 à 70 % d'ici la fin du siècle selon les modèles climatiques) ; une nette baisse des volumes neigeux moyens est attendue en hiver (de 69 à 98 % d'ici la fin du siècle) ; on part également d'une baisse du nombre de jours de pluie d'ici la fin du siècle en été (-6 à -22 jours) et d'une augmentation de ces jours en hiver (0 à +9 jours 9).		
Modification du régime hydrologique	<i>Explication :</i> Conséquence de la modification de la répartition des précipitations. <i>Réf. bibliographiques :</i> Luxembourg : la répartition saisonnière des précipitations a été marquée par une grande variabilité au cours des 130 dernières années 1). Bassin versant du Rhin : débit annuel moyen de la station de mesure de Raunheim ; on attend pour le futur proche des augmentations pour Kaub, Cologne et Lobith (de 0 % à +15 %) ; pour le futur lointain, aucune autre tendance en relation avec des modifications diverses en hiver et en été n'est identifiée. En termes quantitatifs, le débit moyen en hiver augmente de 0 % à +25 % dans le futur proche et de +5 % à +40 % dans le futur lointain ; en été, les tendances attendues sont variables mais ceci uniquement dans le futur lointain (diminution de 30 % à 5 % à l'exception de Raunheim). Dans le futur lointain, le mois marqué par le plus bas débit et celui caractérisé par le plus haut débit apparaîtront de plus en plus tôt. Une baisse des écoulements faibles est manifeste pour le futur éloigné, avec - 25 % à 0 % pour le NM7Q en été, alors qu'aucun signal net de modification du NM7Q ne peut être recensé pour l'hiver. Aucun signal clair ne ressort pour le FDC_Q90 (percentile 90 de la courbe de durée de débit) dans le futur éloigné. Quelques mesures font apparaître des baisses, d'autres ne mettent pas en évidence de tendance claire). Dans les affluents rhénans Main et Moselle, ces deux paramètres s'écartent de l'évolution exposée ci-dessus. Les marges de variation sont généralement plus larges que celles des appareils de mesure installés sur le Rhin 15). Allemagne : les analyses des précipitations journalières en hiver mettent en évidence pour la période 1951-2006 une augmentation de 25 % des jours marqués par des volumes de précipitations élevés. Cette augmentation se manifeste dans toutes les régions de l'Allemagne. En tendance, les précipitations printanières et automnales sont en légère hausse. Sur 135 ans, on note une augmentation du volume des précipitations annuelles de 11 % au printemps, à l'automne et en hiver mais pas en été, ce qui laisse supposer un début plus précoce et une fin plus tardive de la période des précipitations convectives et, en même temps, une plus grande intensité des fortes pluies 4).	Débit - / NR Débit hivernal + / NR Débit estival - / NR	1) ; 2) ; 3) ; 4) ; 5) ; 6) ; 15)
Augmentation du nombre de crues et modification des valeurs empiriques de référence	<i>Explication :</i> L'augmentation potentielle des précipitations intenses peut accroître la fréquence des crues. <i>Réf. bibliographiques :</i> Luxembourg : augmentation de la fréquence des crues résultant de redistributions massives des précipitations en hiver et d'une hausse du débit journalier maximal en hiver.	Précipitations intenses + / = Précipitations hivernales + / = Crues + / NR Écoulement des cours d'eau + / =	1) ; 2) ; 5) ; 6) ; 7) ; 8)

	Risque accru d'ondes de crue et risque accru de périodes de sécheresse 1). Bassin versant du Rhin : modification des débits de pointe : les projections affichent une augmentation pour Raunheim (Main), Trèves (Moselle), Cologne et Lobith, surtout pour le futur lointain. Pour le futur proche, les tendances sont moins prononcées ou font défaut (à l'exception de Raunheim). La marge d'incertitude des modèles augmente quand on passe du futur proche au futur éloigné. Les incertitudes vont croissantes de MHQ à HQ1000. Il est impossible de tirer de conclusions pour les stations dont le régime d'écoulement est caractérisé par des pointes de débit estivales (p. ex. Bâle, Maxau et Worms) 15). France : on constate globalement que l'intensification du cycle de l'eau fait augmenter le risque d'inondation au printemps et en hiver ainsi que la durée des étiages en juin/juillet et en octobre/novembre 14). Belgique : les prévisions annoncent une hausse de l'écoulement des rivières de 4 à 28 % d'ici 2100, ce qui se traduit par un risque plus élevé d'inondation dans tous les bassins analysés 7). Sarre : les volumes de précipitations plus abondants pendant l'hiver hydrologique et la recrudescence des événements pluvieux intenses laisse attendre une fréquence plus élevée des crues décennales et cinquantennales 9).		
Abaissement du niveau de la nappe phréatique	<i>Explication :</i> La modification de la répartition des précipitations et la fréquence accrue des périodes de sécheresse font baisser le niveau de la nappe phréatique. <i>Réf. bibliographiques :</i> Belgique : on estime que la recharge des eaux souterraines sera plus abondante pendant les mois d'hiver. Bien que ce surplus soit compensé en partie par les périodes estivales sèches, les aquifères proches de la surface dans des régions spécifiques (surtout celles d'exploitation minière) peuvent contribuer à provoquer des inondations 8).	Sécheresse + / = Précipitations estivales - / NR Température estivale + / =	1) ; 2) ; 3) ; 4) ; 5) ; 15)
Modification des risques naturels potentiels	<i>Explication :</i> La plus grande fréquence des événements extrêmes modifie les risques naturels potentiels. <i>Réf. bibliographiques :</i> Luxembourg : augmentation de la fréquence des crues résultant de redistributions massives des précipitations en hiver et d'une hausse du débit journalier maximal en hiver 2). La sécheresse pose des problèmes hygiéniques au niveau de l'évacuation des eaux urbaines quand les égouts ne transportent plus suffisamment d'eau et ne sont donc plus suffisamment vidangés. À l'opposé des crues, les précipitations extrêmes, p. ex. les pluies intenses, provoquent des crues subites et violentes qui ne se limitent pas à faire déborder les fleuves mais peuvent également faire refluer les eaux dans les canalisations. L'eau rejaillit alors des canalisations, est refoulée dans les rues et les caves des bâtiments et submerge les surfaces libres. La hausse des précipitations, notamment en hiver, aggrave les situations de crue dans les vallées fluviales. Sont surtout concernées ici, en plus de la navigation, l'agriculture et la sylviculture, les activités de loisir et de détente, de même que les infrastructures telles que les routes, les voies ferrées, les lignes électriques et les équipements de télécommunication. En milieu urbain, les bâtiments peuvent être	Précipitations intenses + / = Tempêtes + / NR Précipitations hivernales + / = NN7Q = / NR NM7Q - / NR HQ10 + / NR HQ50 + / NR HQ100 + / NR Débit hivernal + / NR Débit estival - / NR	5) ; 3) ; 7) ; 15)

	endommagés et les entrepôts de substances dangereuses pour les eaux, comme le mazout p. ex., peuvent provoquer des pollution environnementales 1). France : on constate globalement que l'intensification du cycle de l'eau fait augmenter le risque d'inondation au printemps et en hiver ainsi que la durée des étiages en juin/juillet et en octobre/novembre 9). Allemagne : les analyses statistiques des paramètres de convection déclenchant la formation de grêle mettent en évidence une légère hausse de ce risque potentiel au cours de 20 à 30 dernières années 6).		
Modification des zones vulnérables	<i>Explication :</i> Réaction de la politique d'aménagement du territoire face à des risques naturels potentiels modifiés ; sécurisation des infrastructures urbaines et des infrastructures de distribution. <i>Réf. bibliographiques :</i> Luxembourg : augmentation de la fréquence des crues résultant de redistributions massives des précipitations en hiver et d'une hausse du débit journalier maximal en hiver 2). La sécheresse pose des problèmes hygiéniques au niveau de l'évacuation des eaux urbaines quand les égouts ne transportent plus suffisamment d'eau et ne sont donc plus suffisamment vidangés. À l'opposé des crues, les précipitations extrêmes, p. ex. les pluies intenses, provoquent des crues subites et violentes qui ne se limitent pas à faire déborder les fleuves mais peuvent également faire refluer les eaux dans les canalisations. L'eau rejaillit alors des canalisations, est refoulée dans les rues et les caves des bâtiments et submerge les surfaces libres. La hausse des précipitations, notamment en hiver, aggrave les situations de crue dans les vallées fluviales. Sont surtout concernées ici, en plus de la navigation, l'agriculture et la sylviculture, les activités de loisir et de détente, de même que les infrastructures telles que les routes, les voies ferrées, les lignes électriques et les équipements de télécommunication. En milieu urbain, les bâtiments peuvent être endommagés et les entrepôts de substances dangereuses pour les eaux, comme le mazout p. ex., peuvent provoquer des pollutions environnementales 1). France : on constate globalement que l'intensification du cycle de l'eau fait augmenter le risque d'inondation au printemps et en hiver ainsi que la durée des étiages en juin/juillet et en octobre/novembre 9). Bassin versant du Rhin : modification des débits de pointe : les projections affichent une augmentation pour Raunheim (Main), Trèves (Moselle), Cologne et Lobith, surtout pour le futur lointain. Pour le futur proche, les tendances sont moins prononcées ou font défaut (à l'exception de Raunheim). La marge d'incertitude des modèles augmente quand on passe du futur proche au futur éloigné. Les incertitudes vont croissantes de MHQ à HQ1000. Il est impossible de tirer de conclusions pour les stations dont le régime d'écoulement est caractérisé par des pointes de débit estivales (p. ex. Bâle, Maxau et Worms) 12). Débit annuel moyen de la station de mesure de Raunheim ; on attend pour le futur proche des augmentations pour Kaub, Cologne et Lobith (de 0 % à +15 %) ; pour le futur lointain, aucune autre tendance en relation avec des modifications diverses en hiver et en été n'est identifiée. En termes quantitatifs, le débit moyen en hiver augmente de 0 % à +25 % dans le futur proche et de +5 % à +40 % dans le futur lointain ; en été, les tendances attendues sont variables mais ceci uniquement dans le futur	Crues + / NR Précipitations hivernales + / = Recharge de la nappe + / NR Neige - / - MoMQ (Sûre) semestre d'hiver + / NR MoMQ (Sûre) été hydrologique = / NR MoMHQ (Sûre) hiver hydrologique + / NR MoMHQ (Sûre) été hydrologique + / NR MoMNHQ (Sûre) hiver hydrologique + / NR MoMNHQ (Sûre) été hydrologique - / NR Écoulement des cours d'eau + / = Débit hivernal + / NR Débit estival - / NR	3) ; 5) ; 7) ; 15)

	lontain (diminution de 30 % à 5 % à l'exception de Raunheim). Dans le futur lointain, le mois marqué par le plus bas débit et celui caractérisé par le plus haut débit apparaîtront plus tôt 12).		
--	---	--	--

Bibliographie : 1) OECD 2013 ; 2) Ministerium für Inneres und Sport des Saarlandes 2012 ; 3) Ntegeka et al. 2009 ; 4) DWD 2016 ; 5) Ministère du Développement durable et des Infrastructures 2012 ; 6) Le gouvernement du Grand-Duché de Luxembourg 2015 ; 7) Gellens & Roulin 1998 ; 8) d'Ieteren et al. 2004 ; 9) Ministerium für Inneres und Sport des Saarlandes 2012 ; 10) Ministerium für Umwelt, Forst und Verbraucherschutz Rheinland-Pfalz 2007 ; 11) Baguis et al. 2009 ; 12) Ministère du Développement durable et des Infrastructures 2011a ; 13) National Climate Commission 2010 ; 14) Observatoire national sur les effets du réchauffement climatique 2007 ; 15) Görgen et al. 2010.

2.2.4. Résumé

Les répercussions du changement climatique sur la biosphère, la pédosphère et l'hydrosphère ont été présentées dans les chapitres 2.2.1 à 2.2.3. Le *tableau 8* donne un aperçu des principaux impacts climatiques.

Tableau 8 : Description des répercussions du changement climatique sur le Luxembourg

	Impact climatique
Biosphère	Modification de la composition des espèces
	Déplacement d'habitats
	Espèces exotiques envahissantes
	Augmentation des organismes nuisibles indigènes
	Apparition de nouveaux agents pathogènes
	Facteurs de développement d'agents pathogènes indigènes
	Modification des ressources disponibles en eau
	Habitats humides menacés
	Demande accrue en irrigation dans le secteur agricole
	Prolongation de la période végétative
	Modification du rendement potentiel
	Augmentation des événements météorologiques extrêmes
	Modification de la phénologie / du comportement de reproduction
	Augmentation des dommages forestiers abiotiques
	Augmentation du risque de feux de forêt
Pédosphère	Accélération des processus de transformation (dans les sols)
	Érosion accrue du sol
	Altération de la fertilité du sol, de sa structure et de sa stabilité
Hydrosphère	Modification des ressources disponibles en eau
	Qualité des eaux menacée
	Hausse de température des eaux stagnantes
	Hausse de température des eaux courantes
	Augmentation de la variabilité des précipitations
	Augmentation des dommages provoqués par les événements extrêmes
	Augmentation des périodes de sécheresse
	Augmentation de la demande en eau
	Modification de la répartition saisonnière des précipitations

3. MÉTHODE SUIVIE POUR L'ÉTABLISSEMENT DE LA STRATÉGIE

Les chapitres suivants esquissent la méthode suivie pour recenser et évaluer la vulnérabilité de 13 secteurs du Luxembourg (voir chapitre 4) et pour élaborer des mesures sur cette base (voir chapitre 5).

3.1. Recherche bibliographique

À partir d'une recherche bibliographique de grande ampleur, qui a consisté entre autres à passer en revue les stratégies d'adaptation des pays voisins du Luxembourg (p. ex. l'Allemagne : Sarre et Rhénanie-Palatinat, la Belgique et la France), il a été dressé une liste des impacts climatiques possibles sur les secteurs suivants :

- Construction et logement
- Énergie
- Sylviculture
- Infrastructures
- Gestion des crises et des accidents majeurs
- Aménagement du territoire
- Agriculture, y compris santé des végétaux et des animaux
- Santé humaine
- Écosystèmes et biodiversité
- Tourisme
- Espaces urbains
- Régime hydrologique et gestion de l'eau
- Économie

Cette recherche bibliographique a pris à la fois en compte les modifications déjà observées et celles issues de projections. Les résultats de cette recherche ont été incorporés dans les chapitres 2.2 et 4.

3.2. Établissement de la matrice à 9 champs sur les impacts climatiques

Pour chacun des 13 secteurs, les impacts climatiques identifiés à partir de la recherche bibliographique ont été ordonnés et évalués dans une matrice à 9 champs sur les impacts climatiques. Cette évaluation s'est appuyée sur les trois questions suivantes :

1. Quelle est, jusqu'en 2050, l'ordre de grandeur attendu de l'impact observé du changement climatique ? Positionnement sur l'axe des ordonnées de la matrice : élevé, moyen, faible.
2. Quelle est l'importance de l'impact climatique observé par rapport à d'autres impacts climatiques ? Positionnement des impacts climatiques entre eux.
3. Quelle importance la modification causée par l'impact climatique observé a-t-elle pour le Grand-Duché de Luxembourg ? Positionnement sur l'axe des abscisses de la matrice : élevée, moyenne, faible.

Le positionnement des impacts climatiques sur les matrices à 9 champs s'est fondé sur la recherche bibliographique et sur les connaissances d'experts du LIST et de différents ministères.

L'évaluation s'est faite sous l'angle du secteur concerné. Les impacts climatiques ne sont comparables qu'au sein même d'un secteur et non entre les secteurs, car leur classement ne repose pas sur des paramètres uniformes quantitativement mesurables. Il peut donc arriver que le même impact climatique soit évalué différemment dans des secteurs distincts.

3.3. Recensement de mesures existantes

Les informations transmises par le mandant ont été traitées sur la base des mesures déjà existantes et de leur importance pour le processus d'adaptation. Cette liste n'a pas ambition à être exhaustive.

3.4. Définition de nouvelles mesures

Parallèlement, la bibliographie évaluée a permis de mettre en évidence des lacunes dans le catalogue de mesures à considérer en relation avec les impacts climatiques sélectionnés et identifiés comme prioritaires. Les mesures existantes et les futures mesures sont exposées dans le chapitre 5.

4. IMPACTS CLIMATIQUES DANS LES SECTEURS, PRIORISATION, RECOMMANDATIONS D'ACTION DÉRIVÉES

Des impacts climatiques sont identifiés pour 13 secteurs dans les chapitres suivants. Ces impacts climatiques se réfèrent à l'horizon 2050. Cependant, l'horizon fixé pour la formulation détaillée des mesures (voir chapitre 5) et leur planification est 2030.

4.1. Construction et logement

4.1.1. Impact du changement climatique sur ce secteur

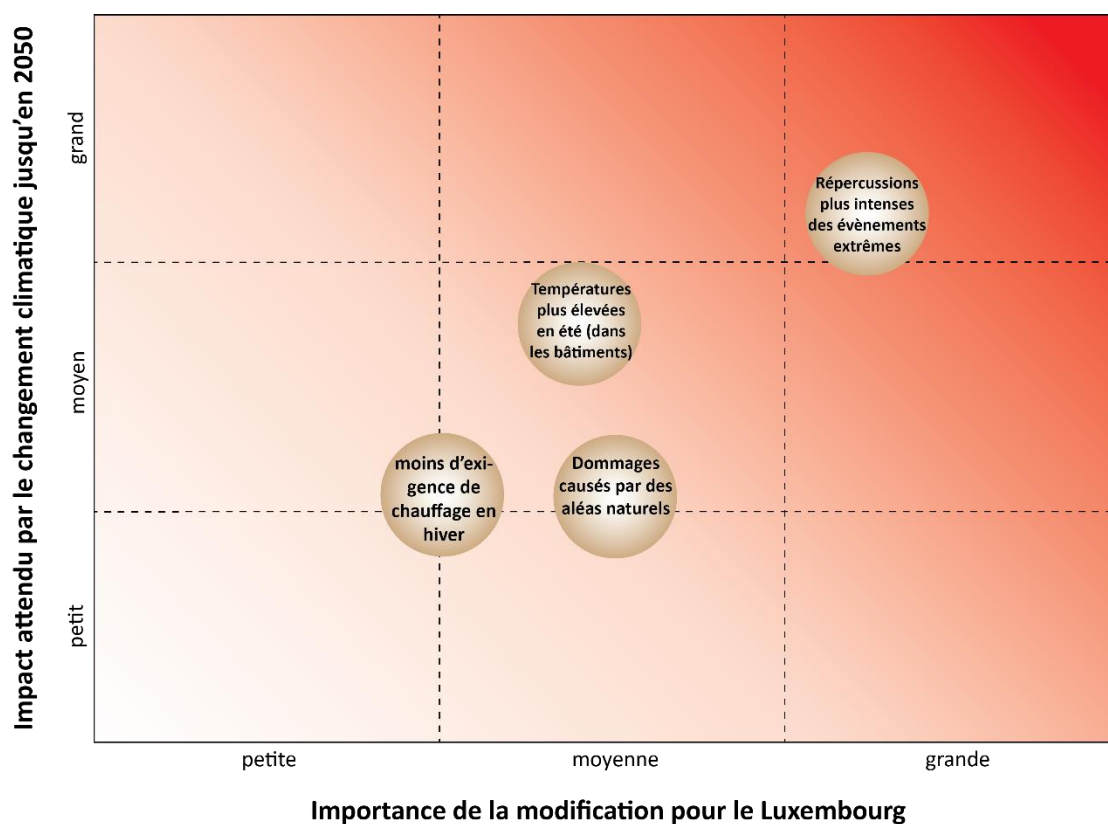
Les températures en hausse et les changements affectant l'exposition aux risques naturels amènent à engager des actions dans le secteur 'Construction et logement' pour abaisser les risques potentiels menaçant les zones urbaines et les infrastructures.

Les températures en hausse font croître les besoins de refroidissement pendant les mois d'été. Les plans de construction et les techniques/installations domestiques doivent être adaptés à ces températures et aux jours de canicule plus fréquents qu'elles génèrent, afin de limiter les effets négatifs sur la santé de la population et les dommages aux infrastructures.

Pour la prévention des inondations, une capacité élevée de rétention des eaux par les infrastructures et les terrains est déterminante. Ceci doit notamment être pris en compte dans la conception de nouveaux bâtiments. Dans ce contexte, l'Administration de la gestion de l'eau établit des cartes des zones inondables et des risques d'inondation dans le cadre de la directive relative à l'évaluation et à la gestion des risques d'inondation (DI, 2007/60/CE). Les cartes des zones inondables permettent de reconnaître sur quelles rivières se produisent des inondations et quelles sont les zones submergées quand surviennent des événements extrêmes particuliers. Les cartes des risques d'inondation indiquent en plus les usages et les infrastructures critiques qui se trouvent dans les zones potentiellement inondables (Ministère du Développement durable et des Infrastructures, 2012).

4.1.2. Matrice à 9 champs sur les impacts climatiques

Conséquence du changement climatique sur le secteur „Construction et logement”



4.1.3. Impacts climatiques priorisés

En se fondant sur les résultats du classement des impacts climatiques identifiés dans la matrice à 9 champs (chapitre 4.1.2), on considère comme prioritaires les impacts climatiques suivants :

- Répercussions plus intenses des événements extrêmes
- Températures plus élevées en été (climat intérieur des bâtiments)

4.1.4. Recommandations d'actions

Eu égard à l'horizon de planification politique visé jusqu'en 2030, les mesures découlant des impacts climatiques priorisés sont établies dans le chapitre 5.1. Elles se présentent comme suit :

- Adapter les normes de construction aux conditions climatiques plus critiques et aux modifications annoncées par les projections
- Élaborer un guide sur la « construction adaptée au changement climatique »

4.2. Energie

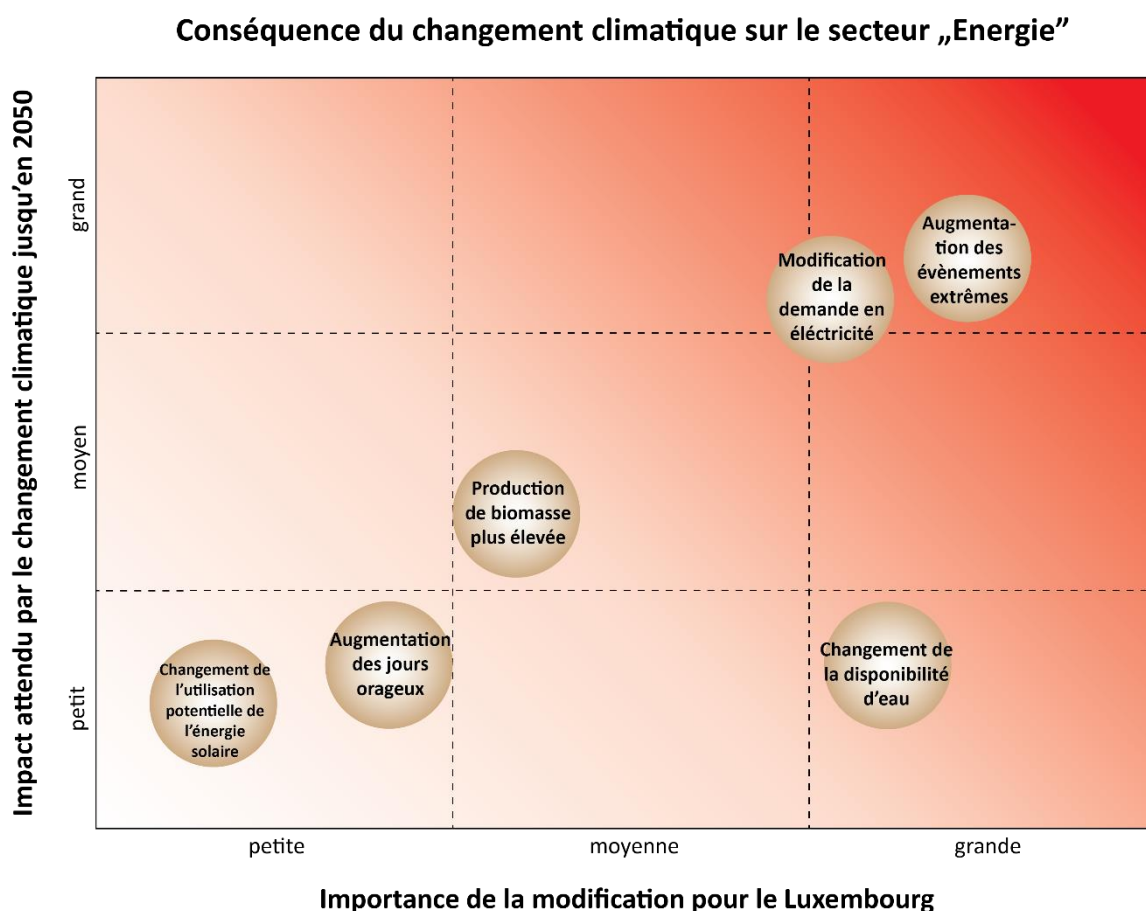
4.2.1. Impact du changement climatique sur ce secteur

L'approvisionnement énergétique du Luxembourg repose en grande partie sur l'importation de pétrole (env. 60 % en 2013). La production d'énergie hydroélectrique (0,3 %), éolienne (0,2 %) et solaire (0,2 %) ne joue qu'un rôle mineur (IEA, 2014). Bien que les répercussions du changement climatique, p. ex. les modifications de répartition saisonnière des précipitations, ne mettent pas en danger de manière substantielle l'approvisionnement du Luxembourg en énergie, elles représentent un défi pour les usines hydroélectriques.

En outre, le secteur économique de l'électricité aura à s'adapter à des événements météorologiques extrêmes plus fréquents comme les inondations et à des tempêtes plus violentes à partir du milieu du siècle. Il faut donc compter avec des perturbations plus fréquentes des infrastructures de transport, de stockage et de transmission.

La demande en énergie va également évoluer en raison de températures moins basses en hiver et plus élevées en été, ceci d'autant plus que la demande de refroidissement augmentera en été alors que les besoins en chauffage baisseront en hiver.

4.2.2. Matrice à 9 champs sur les impacts climatiques



4.2.3. Impacts climatiques priorités

En se fondant sur les résultats du classement des impacts climatiques identifiés dans la matrice à 9 champs (chapitre 4.2.2), on considère comme prioritaires les impacts climatiques suivants :

- Augmentation des impacts d'événements extrêmes
- Modification de la demande en électricité
- Production de biomasse plus élevée

4.2.4. Recommandations d'actions

Eu égard à l'horizon de planification politique visé jusqu'en 2030, les mesures découlant des impacts climatiques priorités sont établies dans le chapitre 5.2. Elles se présentent comme suit :

- Vérifier et adapter les infrastructures d'énergie existantes quant à leur vulnérabilité aux événements extrêmes
- Mesures de sensibilisation à l'économie d'énergie et au déploiement d'énergie solaire décentralisée et à d'autres sources d'énergie non utilisées
- Développer des centrales biomasse en tenant compte des aspects de durabilité

4.3. Sylviculture

4.3.1. Impact du changement climatique sur ce secteur

35 % de la surface du Grand-Duché est boisée. Dans des conditions naturelles, une forêt de feuillus dominée par les hêtres s'étendrait sur le territoire du Luxembourg, mais la gestion sylvicole des siècles passés fait qu'un peu moins d'un tiers (32 %) de la surface forestière est couverte de résineux (principalement des épicéas avec 19 %, suivis des douglas avec 3 % et des pins avec 1 %)².

À propos de l'adéquation des essences aux sites d'implantation, la hausse de la température moyenne annuelle et l'augmentation des périodes de sécheresse attendues avec le changement climatique confrontent la sylviculture du Grand-Duché à des défis de taille, notamment en regard du fait que les plantations sont jugées trop vieilles sur env. 9 500 ha de la surface forestière (Ministère du Développement durable et des Infrastructures, 2016). Cette remarque est également à considérer à la lumière de l'état phytosanitaire de la forêt luxembourgeoise : le pourcentage d'arbres sains a chuté de 75 % en 1986 à 33 % en 2015³. Il

² https://environnement.public.lu/fr/natur/forets/L_Inventaire_Forestier_National.html

³ <http://www.statistiques.public.lu/stat/>, Phytosanitary status (in %) 1986 - 2015

en découle que les peuplements forestiers du Luxembourg sont particulièrement exposés aux perturbations biotiques et abiotiques.

De plus, le prolongement de la période végétative favorise la formation de plusieurs générations d'insectes nuisibles (p. ex. le scolyte) et l'immigration de nouvelles espèces nuisibles envahissantes exerçant une pression supplémentaire sur les écosystèmes forestiers.

Les périodes de sécheresse prolongée peuvent renforcer par ailleurs le risque de feux de forêt⁴. On attend ainsi une forte augmentation relative du risque de feux de forêt en Europe occidentale et en Europe centrale⁵. La hausse des températures se traduit par ailleurs par un stress thermique plus élevé sur les plantes et une plus forte évapotranspiration. Les périodes hivernales appropriées pour l'abattage seront moins longues en raison de la réduction des phases de gel et les travaux forestiers deviendront plus complexes.

Ces répercussions négatives du changement climatiques mises à part, on estime que la productivité des forêts ira en augmentant sous l'effet des températures, à condition que l'approvisionnement en eau soit suffisant. Il faut signaler par ailleurs que l'accélération des processus de transformation dans les sols forestiers modifiera la disponibilité des éléments nutritifs.

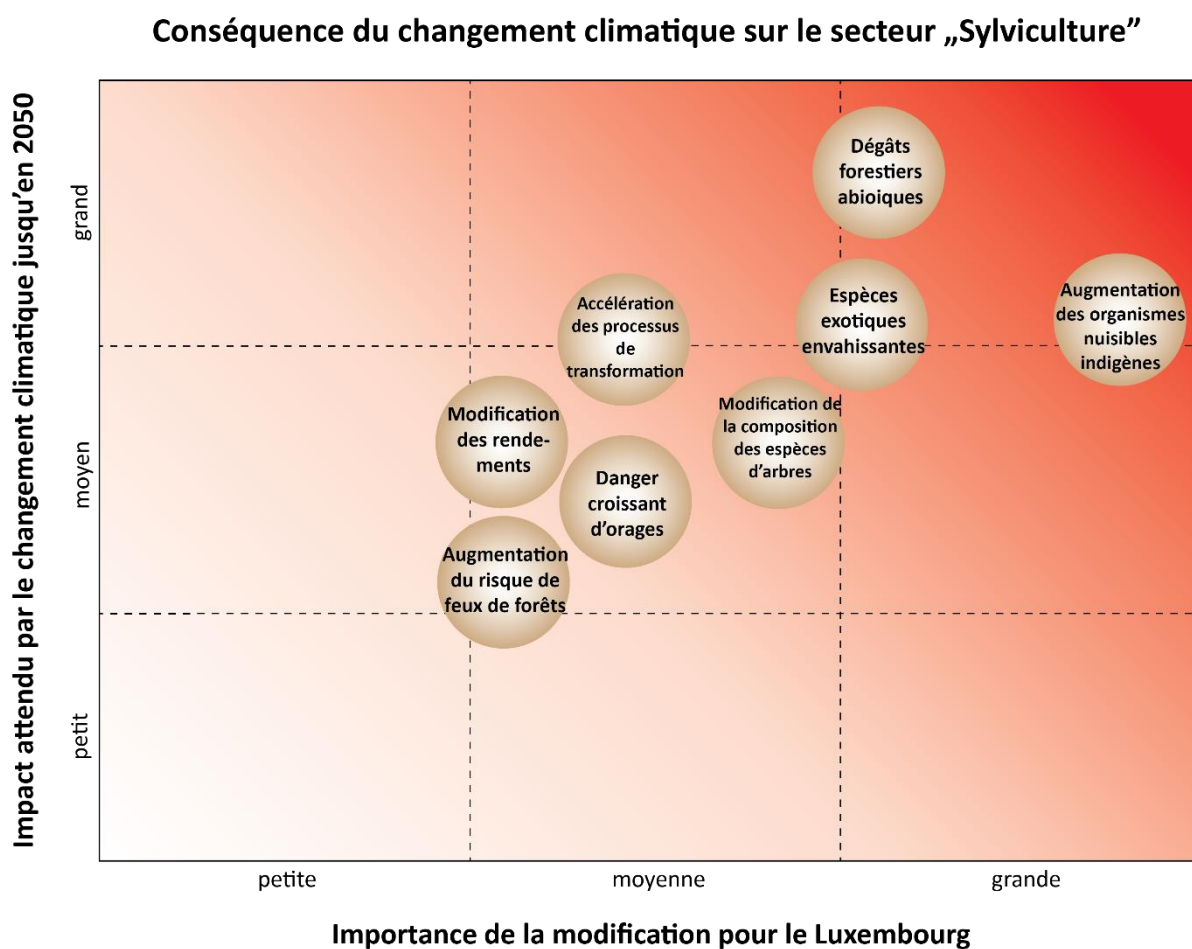
On estime également que l'augmentation des facteurs abiotiques perturbateurs, comme les tempêtes par exemple, provoquera des dommages sylvicoles plus importants que ceux connus actuellement. Ces suppositions sont toutefois affectées d'une grande marge d'incertitude.

Les forêts morcelées seront perturbées dans une plus grande mesure par des effets négatifs de bordure (Edge effect) du fait de la plus grande exposition à la lumière et aux températures élevées.

⁴ <https://environnement.public.lu/fr/actualites/2018/07/canicule.html>

⁵ http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/forest-fire-danger-2/assessment/#_edn5

4.3.2. Matrice à 9 champs sur les impacts climatiques



4.3.3. Impacts climatiques priorités

En se fondant sur les résultats du classement des impacts climatiques identifiés dans la matrice à 9 champs (chapitre 4.3.24.3.2), on considère comme prioritaires les impacts climatiques suivants :

- Augmentation des organismes nuisibles indigènes
- Espèces exotiques envahissantes
- Modification de la composition des espèces (d'arbres)
- Accélération des processus de transformation (dans les sols)

Il convient de souligner que dans un écosystème complexe comme celui d'une forêt les liens sont très étroits entre les différents impacts climatiques affichés dans la matrice, notamment ceux provoquant des dommages forestiers abiotiques. Même si on ne peut pas influencer directement ces dommages (ou par le biais de mesures dans d'autres secteurs), la gestion sylvicole des forêts doit être telle qu'elle permette de minimiser les effets dommageables.

4.3.4. Recommandations d'actions

Eu égard à l'horizon de planification politique visé jusqu'en 2030, les mesures découlant des impacts climatiques prioritaires sont établies dans le chapitre 5.3. Elles se présentent comme suit :

- Dresser une cartographie complète des biotopes forestiers et élaborer un catalogue de mesures pour une sylviculture viable dans le contexte d'un climat en mutation
- Convertir les monocultures en forêts mixtes
- Préserver, améliorer ou restaurer les fonctions du sol forestier, notamment celles de réservoir d'eau et de carbone et de fournisseur de nutriments

4.4. Infrastructures

4.4.1. Impact du changement climatique sur ce secteur

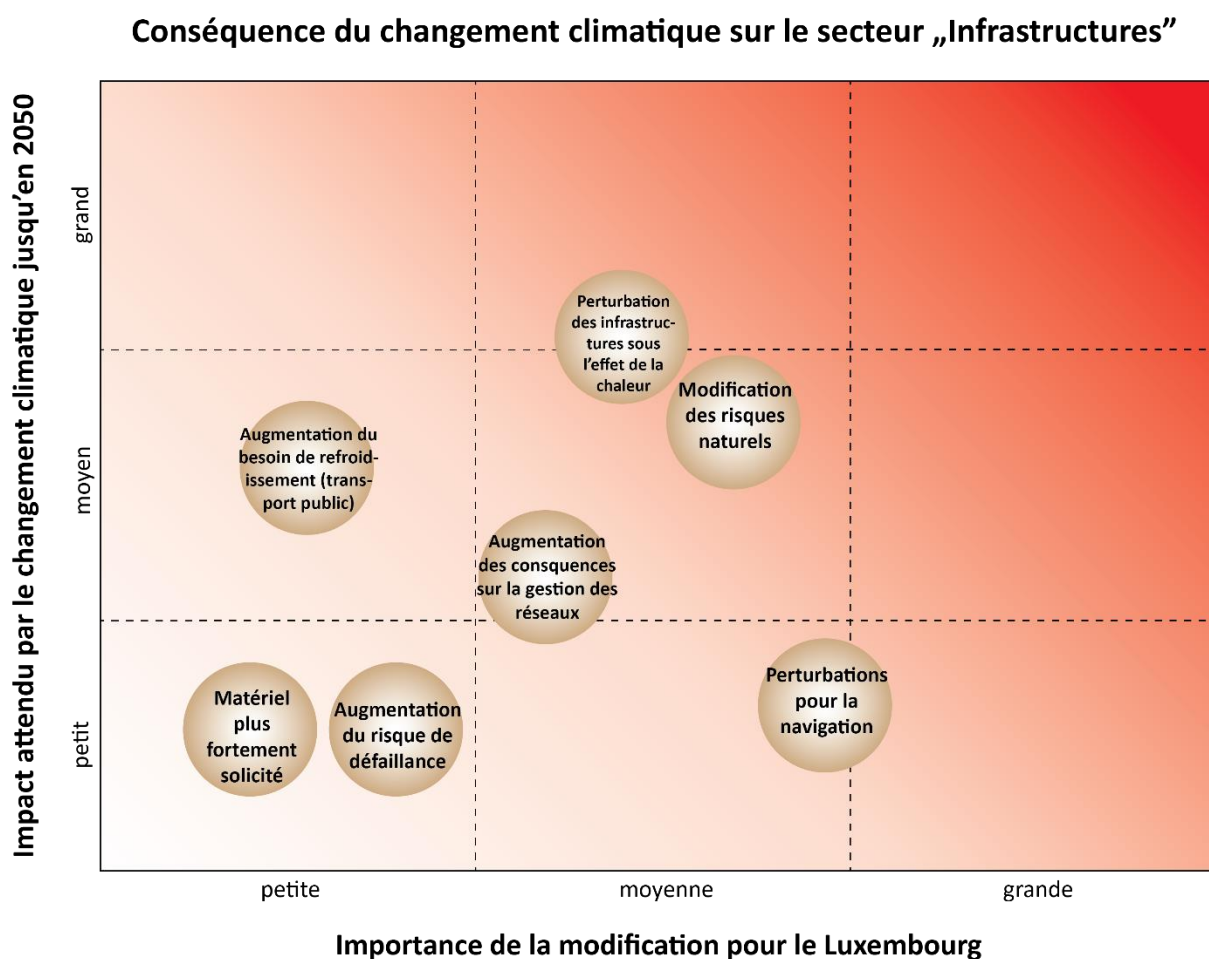
Le degré de motorisation du Luxembourg occupe une place au premier rang parmi les États européens (Ministère du Développement durable et des Infrastructures, 2011b). Les infrastructures de transport sont donc particulièrement développées. Cependant, dans le contexte du changement climatique l'attention doit également porter sur les équipements de télécommunication et d'approvisionnement en eau, de même que sur les bâtiments publics, qui seront particulièrement touchés par les événements extrêmes plus fréquents. En raison de données parfois lacunaires, la marge d'incertitude est encore importante et il est difficile de dire concrètement comment évolue la fréquence des événements extrêmes générateurs de dommages.

L'augmentation potentielle des phénomènes de pluies intenses, d'inondations et de tempêtes a toutefois des répercussions négatives sur l'économie des entreprises et sur le commerce. Ces phénomènes peuvent affecter le réseau routier ou ferroviaire, ou encore des infrastructures telles que l'aéroport de Findel. On peut également mentionner dans ce contexte le Cargocenter de Luxembourg, les lignes électriques ou de télécommunication, les maisons de retraite et de santé, les maternelles et les écoles, mais également les monuments et sites d'intérêt culturel.

Sous l'effet de vagues de chaleur plus fréquentes, il faudra compter avec des besoins accrus de refroidissement dans les transports publics, des sollicitations mécaniques plus fortes et des perturbations des équipements informatiques.

En revanche, il est peu probable que les voies navigables du Luxembourg connaîtront des perturbations en phase d'étiage, à l'exception de la Moselle (Ministère du Développement durable et des Infrastructures, 2012).

4.4.2. Matrice à 9 champs sur les impacts climatiques



4.4.3. Impacts climatiques priorisés

En se fondant sur les résultats du classement des impacts climatiques identifiés dans la matrice à 9 champs (chapitre 4.4.2), on considère comme prioritaires les impacts climatiques suivants :

- Perturbation des infrastructures sous l'effet de la chaleur
- Modification des risques naturels potentiels

4.4.4. Recommandations d'actions

Eu égard à l'horizon de planification politique visé jusqu'en 2030, les mesures découlant des impacts climatiques priorisés sont établies dans le chapitre 5.4. Elles se présentent comme suit :

- Identifier les infrastructures critiques et initier des mesures de réduction de la vulnérabilité
- Prendre en compte le changement climatique dans la conception de nouvelles infrastructures

4.5. Gestion des crises et des accidents majeurs

4.5.1. Impact du changement climatique sur ce secteur

La hausse des températures, de même que l'accumulation et l'intensification des phénomènes météorologiques extrêmes, font grandir les risques naturels et provoqueront des événements non dimensionnés jusqu'à présent. Les crises qui en découleront auront des répercussions directes sur la gestion des crises et des accidents majeurs.

L'*Administration des services de secours (ASS)* fondée en 2004 regroupe le Service national de la Protection Civile et le Service d'Incendie et de Sauvetage. Ses tâches principales consistent entre autres à mettre en œuvre des mesures destinées à protéger et à secourir les personnes en danger et à sauvegarder les biens lors d'événements calamiteux, de catastrophes, de sinistres, d'incendies et de crues ou inondations. La réforme des services de la sécurité civile appliquée en 2018 a donné naissance au nouveau *Corps grand-ducal d'incendie et de secours (CGDIS)*. Le CGDIS intègre désormais l'ASS et les services communaux d'incendie et de sauvetage dans une seule organisation financée par l'État et les communes. En plus de ses responsabilités techniques de maîtrise des catastrophes, ce nouvel établissement public a également pour compétence d'organiser la communication avec les organisations de protection civile des pays voisins. Le fait d'être directement subordonné au ministre de l'Intérieur confère au CGDIS une autorité politique, administrative et technique particulière.

La loi du 23 juillet 2016 portant création d'un Haut-Commissariat à la Protection nationale⁶ (HCPN) définit les tâches du HCPN. Dans son volet administratif, il a pour tâche de prévenir, anticiper et gérer les crises. Ses missions consistent à prévenir les crises et à protéger le pays et la population contre les effets d'une crise. En cas de survenance d'une crise, ceci englobe la gestion des mesures et activités destinées à faire face à la crise et à ses effets et à favoriser le retour à l'état normal. Le HCPN est également responsable de la mise en place d'un *Centre national de crise*. Par ailleurs, le HCPN est le service national compétent pour la coordination des questions de protection des infrastructures critiques, y compris infrastructures

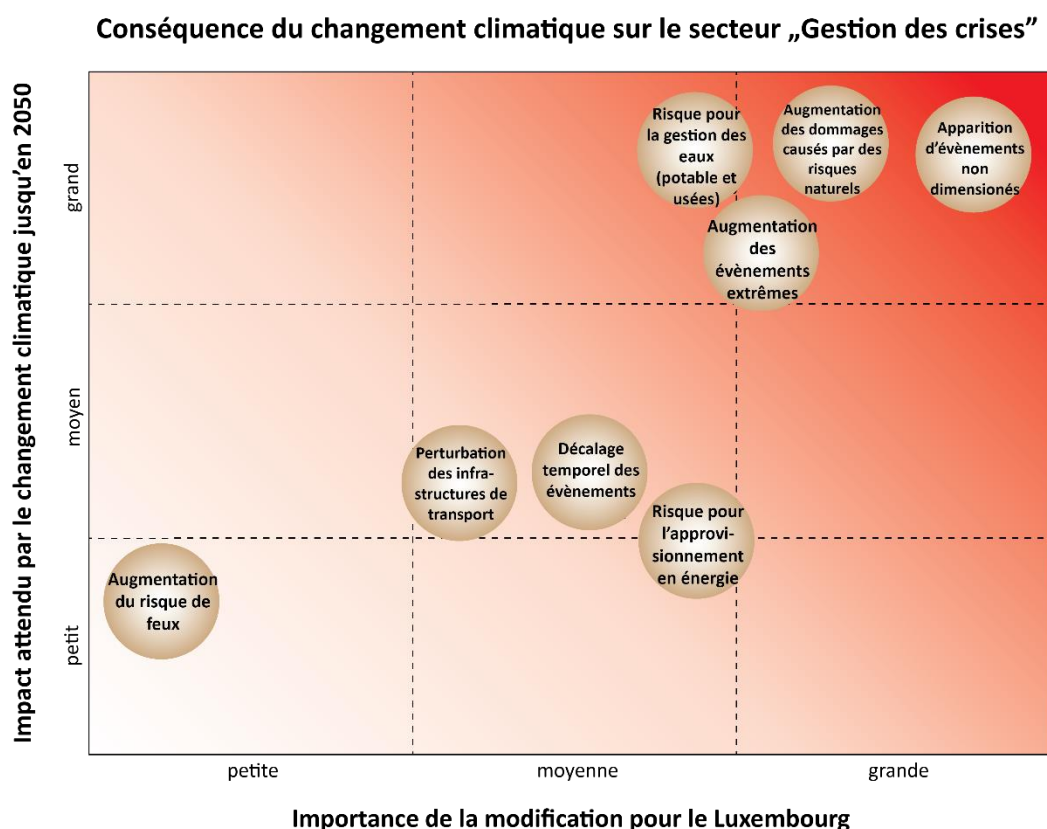
⁶ Loi du 23 juillet 2016 portant création d'un Haut-Commissariat à la protection nationale
<http://data.legilux.public.lu/file/eli-etat-leg-memorial-2016-137-fr-pdf.pdf>

européennes situées sur le territoire du Luxembourg. Enfin, le HCPN est chargé de la coordination des mesures de lutte contre le terrorisme au niveau national.

L'orientation stratégique de la gestion des crises et des accidents majeurs doit intégrer à la fois les évolutions du contexte politique et la hausse des risques naturels potentiels due au changement climatique. Les événements météorologiques extrêmes doivent être plus nettement mis en relief dans les activités de préparation. La priorité doit également être donnée à la protection des infrastructures critiques contre les risques naturels en plus de celle de la population.

Ceci signifie concrètement que la gestion des crises et des accidents majeurs doit s'ajuster d'une part aux modifications des risques d'incendie, des altérations des infrastructures de transport, des menaces pesant sur la sécurité de l'approvisionnement en énergie et en eau potable, et d'autre part aux effets plus virulents des événements extrêmes.

4.5.2. Matrice à 9 champs sur les impacts climatiques



4.5.3. Impacts climatiques priorités

En se fondant sur les résultats du classement des impacts climatiques identifiés dans la matrice à 9 champs (chapitre 4.5.2), on considère comme prioritaires les impacts climatiques suivants :

- Apparition d'événements non dimensionnés jusqu'à présent
- Augmentation des dommages primaires et secondaires imputables aux risques naturels/effets amplifiés d'événements extrêmes
- Approvisionnement en eau potable et assainissement des eaux usées menacés

4.5.4. Recommandations d'actions

Eu égard à l'horizon de planification politique visé jusqu'en 2030, les mesures découlant des impacts climatiques prioritaires sont établies dans le chapitre 5.5. Elles se présentent comme suit :

- Faire évoluer les services d'urgence et la direction des interventions pour les adapter aux conditions climatiques changeantes
- Réaliser un suivi en continu des processus et événements de risques naturels et continuer à développer et à améliorer les méthodes et techniques d'identification de nouveaux processus naturels dangereux
- Prendre en compte le changement climatique dans la conception des systèmes d'évacuation des eaux pluviales/usées et de distribution de l'eau potable
- Engager des mesures de protection robustes et adaptables

4.6. Aménagement du territoire

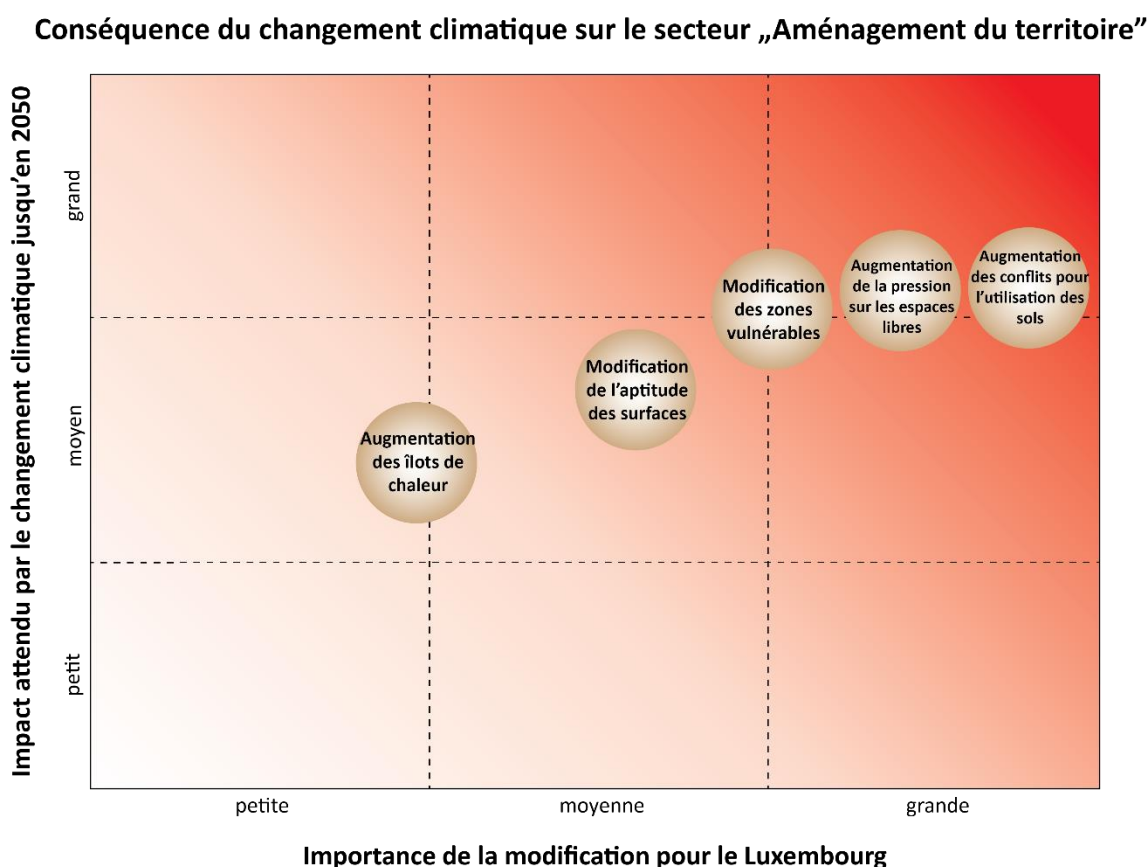
4.6.1. Impact du changement climatique sur ce secteur

L'aménagement du territoire joue un rôle central dans la gestion des répercussions du changement climatique, car il permet de mettre en évidence des recoupements et des interactions avec de nombreux autres secteurs tels que l'agriculture, la sylviculture, la gestion des eaux et les infrastructures. Dans ce contexte, le rôle central de l'aménagement du territoire est également souligné par les imbrications fonctionnelles étroites de ces secteurs au-delà même des frontières nationales (p. ex. sur les questions de mobilité, à l'échelle de la région métropolitaine polycentrique transfrontalière). Les zones vulnérables sont modifiées par les effets du changement climatique, notamment par les hausses de température et les précipitations abondantes, ce qui constitue un défi particulier pour la politique d'affectation des sols. De plus, la pression urbaine fait croître la consommation foncière. Le *Plan national pour un développement durable* (PNDD, Le gouvernement du Grand-Duché de Luxembourg, 2010) prévoit de plafonner au niveau national à 1 ha/jour la consommation foncière d'ici à l'horizon 2020. Dans le contexte du changement climatique, les conflits d'utilisation des terres pourraient s'aggraver à l'avenir. Les réaffectations d'usages éventuellement nécessaires en raison des modifications affectant les zones vulnérables peuvent donner lieu à des conflits dans la pratique.

Le changement climatique a un impact négatif sur la qualité et la disponibilité des surfaces et du sol. Les pressions induites par la chaleur, la sécheresse, les inondations et les pluies intenses, les vents violents et les tempêtes font pression sur les surfaces. La conséquence peut en être des pénuries d'eau et des pertes de récoltes, une érosion aggravée, une diminution des surfaces et une perte de biodiversité, une dégradation des forêts, des difficultés d'approvisionnement en ressources et des problèmes d'élimination des déchets et des eaux usées, des coûts plus élevés par habitant pour adapter/réparer les infrastructures.

Les périodes de canicule plus fréquentes en été donnent naissance à des îlots de chaleur dans les zones urbaines et peuvent constituer une menace pour la santé et favoriser l'apparition de maladies (p. ex. maladies cardio-vasculaires) (voir également à ce propos les chapitres 4.8 et 4.11).

4.6.2. Matrice à 9 champs sur les impacts climatiques



4.6.3. Impacts climatiques priorisés

En se fondant sur les résultats du classement des impacts climatiques identifiés dans la matrice à 9 champs, on considère comme prioritaires les impacts climatiques suivants :

- Aggravation de conflits d'intérêt sur l'emprise des sols

- Pression croissante sur les espaces libres
- Modification des zones vulnérables

4.6.4. Recommandations d'actions

Eu égard à l'horizon de planification politique visé jusqu'en 2030, les mesures découlant des impacts climatiques prioritaires sont établies dans le chapitre 5.6. Elles se présentent comme suit :

- *Climate proofing* de l'aménagement du territoire : Planifier sous forme intégrée et ajuster de manière renforcée les plans nationaux, communaux et sectoriels en tenant compte du changement climatique
- Établir des plans des zones à risque et élaborer des cartes de vulnérabilité, promouvoir les modes de planification et de construction efficaces sur le plan climatique et conseiller les acteurs

4.7. Agriculture, y compris santé des végétaux et des animaux

4.7.1. Impact du changement climatique sur ce secteur

52,6 % du territoire du Luxembourg sont soumis à une exploitation agricole, dont env. 62 000 ha sous forme de terres arables et env. 67 000 ha sous forme de prairies et de pâturages (Ministère de l'Agriculture, de la Viticulture et de la Protection des Consommateurs, 2016). En modifiant le régime des températures et des précipitations, le changement climatique a un impact direct sur l'agriculture mais néanmoins très variable selon les régions. Dans le cas de la gestion des prairies permanentes p. ex., les températures en hausse et les périodes végétatives prolongées peuvent se traduire par une hausse de rendement dans les zones de précipitations abondantes. Le changement climatique présente ici certaines opportunités. Il en va de même pour la viticulture. La hausse des températures de l'air d'environ 2 °C pendant la période végétative de la première décennie du nouveau millénaire (par rapport aux années 1970) a permis la maturation optimale des cépages plantés dans la vallée de la Haute Moselle (Molitor et al., 2014).

Néanmoins, le stress accentué de chaleur et de sécheresse pour les plantes et les animaux, le décalage des épisodes de précipitation ou l'apparition plus fréquente d'espèces nuisibles indigènes et/ou exotiques laisse présager des pertes de rendement en arboriculture fruitière, en agriculture et en élevage de bétail. On voit par exemple que le moucheron asiatique (*Drosophila suzukii*) originaire de l'Asie du Sud-Est est déjà arrivé dans le Grand-Duché de Luxembourg (communication écrite du Ministère de l'Agriculture, de la Viticulture et de la Protection des Consommateurs, 2017). On peut également citer d'autres nuisibles tels que la

flavescence dorée (agent pathogène : *Candidatus Phytoplasma vitis*, vecteur : *Scaphoideus titanus*) en viticulture et la chrysomèle des racines du maïs (*Diabrotica virgifera*), dont l'énorme expansion dans l'UE fait qu'elle n'est plus considérée organisme nuisible de quarantaine entre-temps car il n'apparaît plus possible de l'éradiquer. Cet organisme nuisible continue à migrer vers le nord et est déjà solidement implanté au Bade-Wurtemberg et en Alsace (communication écrite du Ministère de l'Agriculture, de la Viticulture et de la Protection des Consommateurs, 2017). Par ailleurs, certaines espèces de cigales et de punaises, qui sont vecteurs de maladies des plantes, sont mises en avant pour le Grand-Duché de Luxembourg⁷.

À propos de la propagation de maladies et épidémies animales, on note que de nouvelles maladies exotiques principalement transmises par des organismes dits 'vecteurs' sont en progression. Grâce au changement climatique, ces vecteurs peuvent s'adapter aux conditions de vie qu'offrent nos régions. Ainsi, diverses maladies que l'on ne rencontrait jadis que dans les latitudes méridionales sont détectées aujourd'hui de manière sporadique dans des régions plus septentrionales (p. ex. la fièvre catarrhale et la dermatose nodulaire contagieuse). D'autres maladies transmises entre autres par des vecteurs pourraient survenir plus fréquemment dans nos régions à cause du changement climatique (p. ex. la peste porcine africaine).

La récolte de produits agricoles, comme le miel p. ex., est également menacée par la présence accrue d'espèces indigènes et par l'introduction d'espèces envahissantes (petit coléoptère des ruches, *Aethina tumida*). Par ailleurs, on estime que le réchauffement des hivers favorisera à l'avenir l'implantation de nuisibles qui sont actuellement considérés comme organismes nuisibles de quarantaine (communication écrite du Ministère de l'Agriculture, de la Viticulture et de la Protection des Consommateurs, 2017). Ces organismes sont les suivants :

INSECTES

- capricorne asiatique des agrumes (*Anoplophora chinensis*) et longicorne asiatique (*Anoplophora glabripennis*) : sont introduits avec le bois d'emballage insuffisamment traité et infestent les essences forestières ;
- agrile du bouleau (*Agrilus anxius*) et agrile du frêne (*Agrilus planipennis*) : infestent les bouleaux et les frênes ;
- longicorne à col rouge (*Aromia bungii*) : infeste les arbres fruitiers ;
- coléoptère aux puces (*Epitrix sp.*) : infeste p. ex. les pommes de terre.

CHAMPIGNONS

- chancre suintant du pin (*Gibberella circinata*) : infeste les pins.

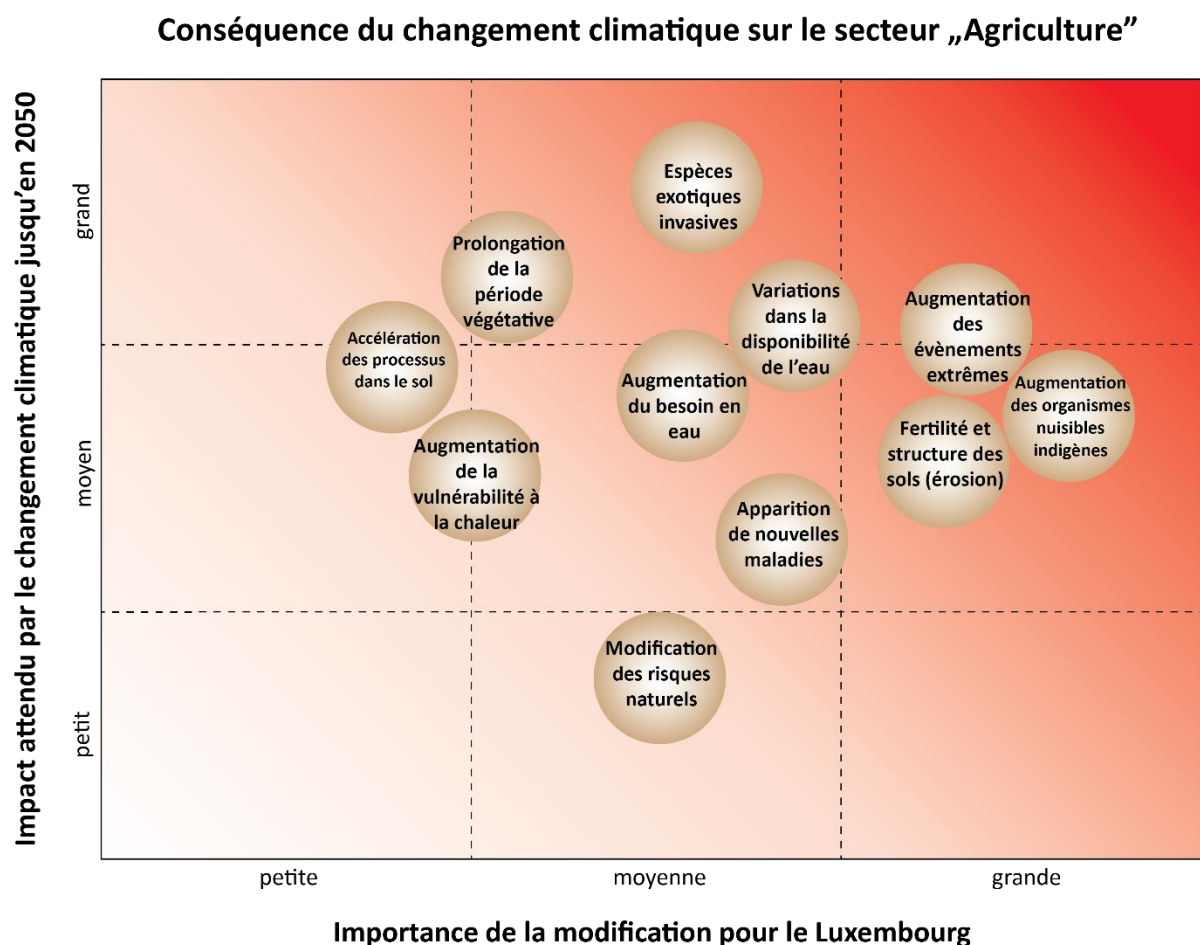
GASTÉROPODES

⁷ <https://www.list.lu/fr/a-propos-de-list/presse/klimawandel-in-luxemburg-spuerbar/>

- ampullaires (*Pomacea*) : pourraient se propager s'il fallait faire appel dans une plus grande mesure à l'irrigation artificielle en raison du changement climatique.

En ce qui concerne la phénologie de certaines espèces, des études montrent qu'une précocité du développement phénologique est à prévoir, notamment au printemps, d'ici la fin du siècle. Au plein printemps, il a ainsi été évalué pour l'Allemagne que les dates de floraison de la pomme seront avancées d'environ 15 jours (DWD, 2016). On observe également depuis les années 1990 des modifications sensibles de la phénologie des ceps de vigne dans les régions viticoles septentrionales de l'Europe (Maixner, 2014).

4.7.2. Matrice à 9 champs sur les impacts climatiques



4.7.3. Impacts climatiques priorités

En se fondant sur les résultats du classement des impacts climatiques identifiés dans la matrice à 9 champs, on considère prioritaires les impacts climatiques suivants :

- Espèces exotiques envahissantes
- Augmentation des événements météorologiques extrêmes
- Augmentation des organismes nuisibles indigènes

- Prolongation de la période végétative
- Altération de la fertilité du sol, de sa structure et de sa stabilité, érosion du sol

4.7.4. Recommandations d'actions

Eu égard à l'horizon de planification politique visé jusqu'en 2030, les mesures découlant des impacts climatiques prioritaires sont établies dans le chapitre 5.7. Elles se présentent comme suit :

- Étendre le suivi d'espèces exotiques envahissantes et élaborer des lignes directrices pour les éradiquer et/ou des activités préventives ; optimiser la coopération entre les administrations concernées
- Intensifier les activités de recherche eu égard aux événements météorologiques extrêmes et identifier les implications en résultant pour les différents secteurs agricoles
- Établir des scénarios sur la présence d'organismes nuisibles afin de planifier des mesures de protection végétale et animale et de recherche de solutions alternatives susceptibles d'abaisser la pression de ces nuisibles ; développer de nouvelles stratégies de lutte (régulation intégrée des organismes nuisibles)
- Tester des options pour étendre l'assolement et/ou le choix des variétés eu égard à la prolongation de la période végétative
- Recenser, faire le suivi et cartographier le potentiel de pâturage (qualité et quantité)
- Encourager les mesures de protection du sol
- Adopter des modes d'élevage et de production animale résilients au climat

4.8. Santé humaine

4.8.1. Impact du changement climatique sur ce secteur

Le stress thermique plus fréquent provoqué par le changement climatique affecte la santé humaine. Ce stress touche principalement les personnes âgées, les enfants en bas âge et les malades chroniques vivant dans les agglomérations urbaines, où le nombre de nuits tropicales, dont l'effet négatif sur l'organisme agit également de nuit, augmente également. Une étude berlinoise montre p. ex. qu'il existe une relation étroite entre le nombre de nuits tropicales et une hausse de la mortalité. Des nuits légèrement plus chaudes suffisent déjà à faire augmenter la mortalité de manière statistiquement significative (Fenner et al., 2015).

Des effets indirects du changement climatique sur la santé résultent de l'augmentation parallèle d'agents pathogènes et d'allergènes, autant d'origine indigène qu'exogène. On constate ainsi entre-temps que des insectes thermophiles se propagent dans certaines régions de l'Allemagne du Sud, comme le moustique tigre (*Aedes albopictus*) originaire du sud de

l'Asie, et sont susceptibles de transmettre de graves maladies telles que la malaria ou la dengue⁸. On peut citer comme autre exemple les tiques, qui transmettent actuellement la borréliose dans la région du Luxembourg. Il faut également compter à l'avenir avec un risque de transmission de la FSME ou encéphalite à tiques centre-européenne (Inspection sanitaire, 2011). La période estivale plus chaude et plus longue fera durer la saison des pollens plus longtemps, ce qui prolongera les souffrances des personnes allergiques. Par ailleurs, de nombreuses plantes réagissent au stress déclenché p. ex. par la chaleur et la sécheresse en produisant plus de pollens ou de spores (moisissures) pour survivre.

Sous l'effet du changement climatique, la propagation plus rapide de plantes déjà introduites et l'augmentation de leur potentiel toxique pourrait favoriser p. ex. l'expansion du séneçon de Jacob (*Senecio jacobaea*) au Luxembourg. Une telle évolution pourrait avoir pour conséquence un apport plus important des alcaloïdes produits par cette plante dans les aliments. Il faut cependant rappeler que l'extension du séneçon de Jacob au Luxembourg est également due à l'absence d'une stratégie de lutte au niveau national (communication écrite du Ministère de l'Agriculture, de la Viticulture et de la Protection des Consommateurs, 2017).

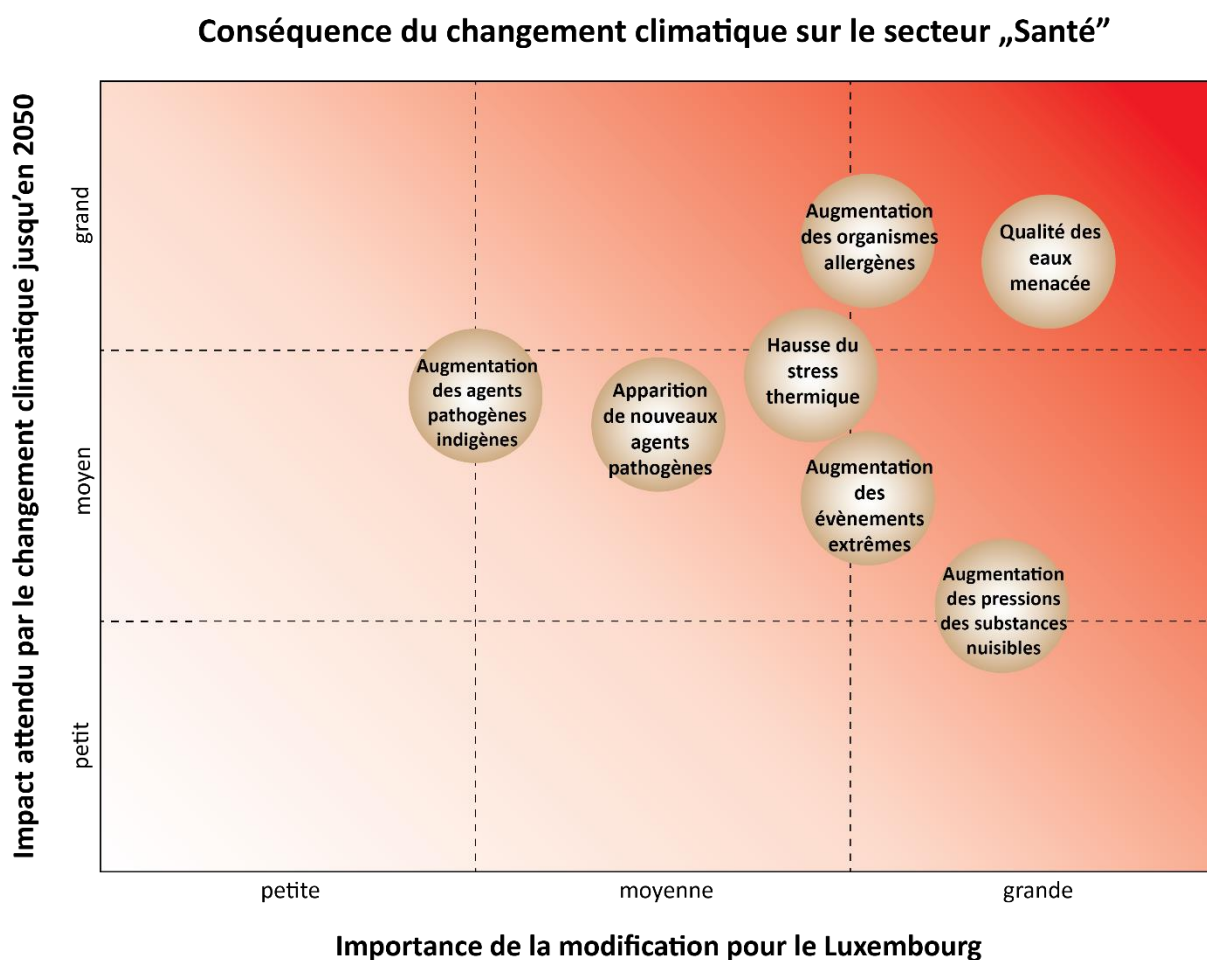
La hausse des températures des eaux de surface, et plus encore les apports drainés par les précipitations intenses dans les eaux peuvent provoquer une contamination des lacs de baignade.

L'impact direct d'un plus fort ensoleillement sur l'organisme humain a des effets variables, les uns négatifs et les autres positifs. L'effet négatif majeur est celui d'un plus grand risque de cancer de la peau. On citera comme effets négatifs indirects la nécessité de séjourner moins longtemps en plein air et la restriction de mouvement et de loisirs de proximité, surtout pour les personnes âgées, ainsi qu'une baisse générale des capacités physiques humaines sous l'impact de la chaleur qui entraînera à son tour une diminution spécifique du « tonus » de la population (augmentation du surpoids et du diabète). En hiver, la période prolongée des pluies (diminution des phases hivernales froides et sèches) aura des répercussions sur l'état psychique (et favorisera les dépressions). On compte comme effets positifs de l'ensoleillement sur l'organisme humain une plus grande activité de synthèse de la vitamine D (à l'heure actuelle, la population européenne souffre généralement d'un manque de vitamine D, surtout pendant les mois hivernaux) et l'impact positif des étés estivaux sur le moral.

L'*inspection sanitaire* a recensé les implications du changement climatique sur la santé publique au Luxembourg (Inspection sanitaire, 2011).

⁸ <https://www.list.lu/en/about-list/press/klimawandel-in-luxemburg-spuerbar/>

4.8.2. Matrice à 9 champs sur les impacts climatiques



4.8.3. Impacts climatiques priorités

En se fondant sur les résultats du classement des impacts climatiques identifiés dans la matrice à 9 champs, on considère prioritaires les impacts climatiques suivants :

- Qualité des eaux menacée
- Augmentation des organismes allergènes
- Hausse du stress thermique
- Augmentation des pressions des substances nuisibles (ozone, poussières fines)

4.8.4. Recommandations d'actions

Eu égard à l'horizon de planification politique visé jusqu'en 2030, les mesures découlant des impacts climatiques priorités sont établies dans le chapitre 5.8. Elles se présentent comme suit :

- Mettre en place un suivi et un système d'avertissement pour l'eau potable et élaborer un catalogue de mesures de protection de l'eau potable contre les impacts du changement climatique
- Limiter l'exposition de la population aux substances allergènes / aux pollens allergisants
- Gérer les ondes de chaleur prolongées dans les services de santé, de soins et des affaires sociales
- Prévoir et gérer la pollution surélevée par l'ozone et les poussières fines

4.9. Ecosystèmes et biodiversité

4.9.1. Impact du changement climatique sur ce secteur

En raison de sa diversité géologique et de son microclimat, le Luxembourg héberge une faune et une flore d'une richesse exceptionnelle. Certaines espèces et certains peuplements ont une importance régionale ou européenne particulière (Wolff, 2006). Le Luxembourg a désigné jusqu'à aujourd'hui 60 réserves naturelles pour protéger ces espèces et leurs écosystèmes.

Le changement climatique a de lourdes répercussions sur les écosystèmes et leurs fonctions ainsi que sur certains organismes. Ces effets sont encore renforcés par des pressions multiples comme p. ex. le morcellement des habitats dû aux usages infrastructurels. La *stratégie nationale d'adaptation* établie en 2011 (Ministère du Développement durable et des Infrastructures, 2011a) traite explicitement la question de la biodiversité et signale que « toute stratégie, planification et mise en œuvre de mesures de conservation de la nature devront permettre une évolution des écosystèmes de façon à accompagner les changements irréductibles de la composition et de la structure des écosystèmes suite au changement climatique ». Ceci doit notamment être considéré dans le contexte de températures moyennes annuelles en hausse et du déplacement des habitats qui les accompagne. De tels déplacements peuvent favoriser l'extinction d'espèces indigènes et l'immigration de nouvelles espèces exotiques, ce qui perturbera sensiblement les biocénoses en place.

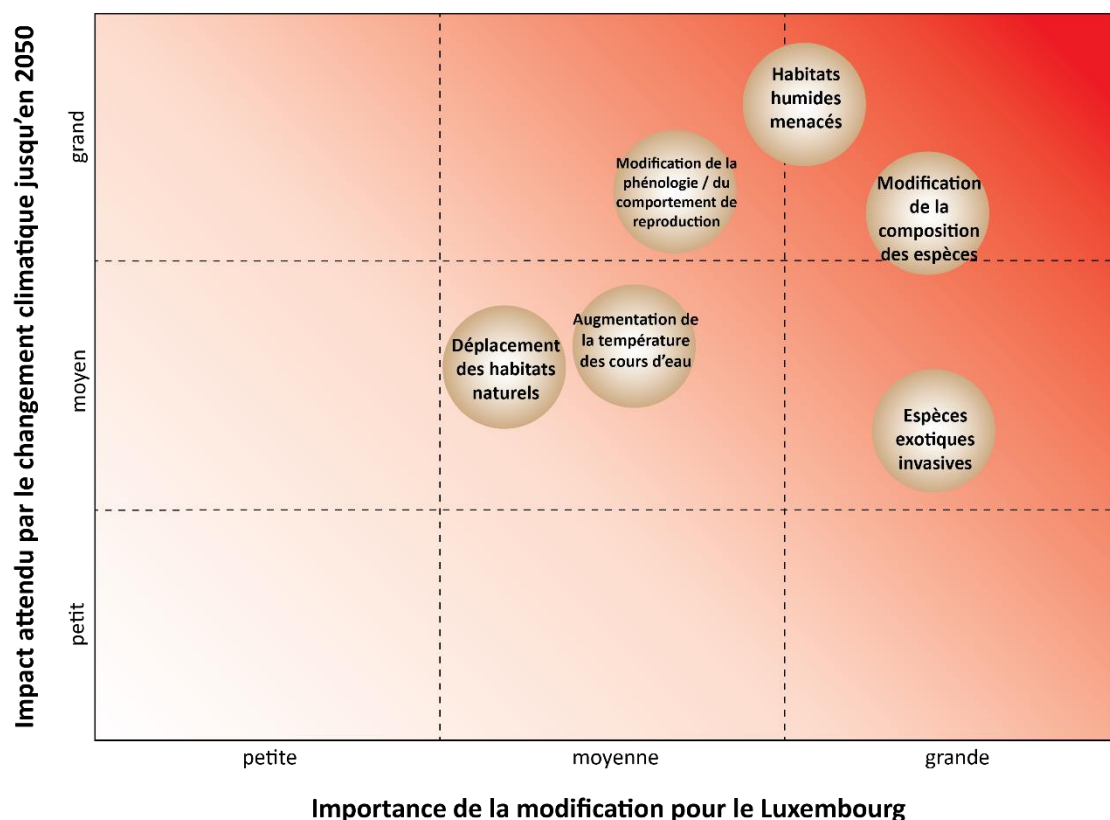
Les zones humides sont tout particulièrement touchées par une hausse des températures moyennes annuelles. La faune et la flore aquatiques ne peuvent déployer totalement leurs activités vitales que dans des plages de température données. Les montées de température sont des facteurs de stress. Quelques espèces de poissons ont plus de mal à survivre, car

l'évolution des œufs et des poissons juvéniles dépend très étroitement de la température. Les températures surélevées et les phases de sécheresse en été impactent plus fortement les petits ruisseaux et les petits plans d'eau (étangs, eaux temporairement stagnantes), ce qui posera notamment problèmes aux espèces amphibiennes. De plus, les petits ruisseaux sont plus fortement affectés par la dégradation chimique de la qualité de l'eau (température, teneur en oxygène, etc.), ce qui impacte en conséquence la faune et la flore.

En raison du prolongement de la période végétative, les modes phénologiques et reproducteurs subissent des modifications. Des effets de cascade peuvent se produire plus fréquemment sous l'effet du changement climatique si des modifications surviennent dans la diversité relative des espèces ou dans la composition des zoocénoses et des phytocénoses.

4.9.2. Matrice à 9 champs sur les impacts climatiques

Conséquence du changement climatique sur le secteur „Ecosystèmes et biodiversité”



4.9.3. Impacts climatiques priorités

En se fondant sur les résultats du classement des impacts climatiques identifiés dans la matrice à 9 champs, on considère prioritaires les impacts climatiques suivants :

- Modification de la composition des espèces
- Modification de la phénologie / du comportement de reproduction
- Espèces exotiques envahissantes
- Habitats humides menacés

4.9.4. Recommandations d'actions

Eu égard à l'horizon de planification politique visé jusqu'en 2030, les mesures découlant des impacts climatiques prioritaires sont établies dans le chapitre 5.9. Elles se présentent comme suit :

- Prendre des mesures ciblées de soutien aux espèces menacées, notamment sur les surfaces pouvant s'avérer climatiquement appropriées
- Prendre en considération le changement climatique dans les schémas de protection de la nature et les plans de gestion
- Assurer le suivi, le contrôle et l'éradication d'espèces exotiques envahissantes

4.10. Tourisme

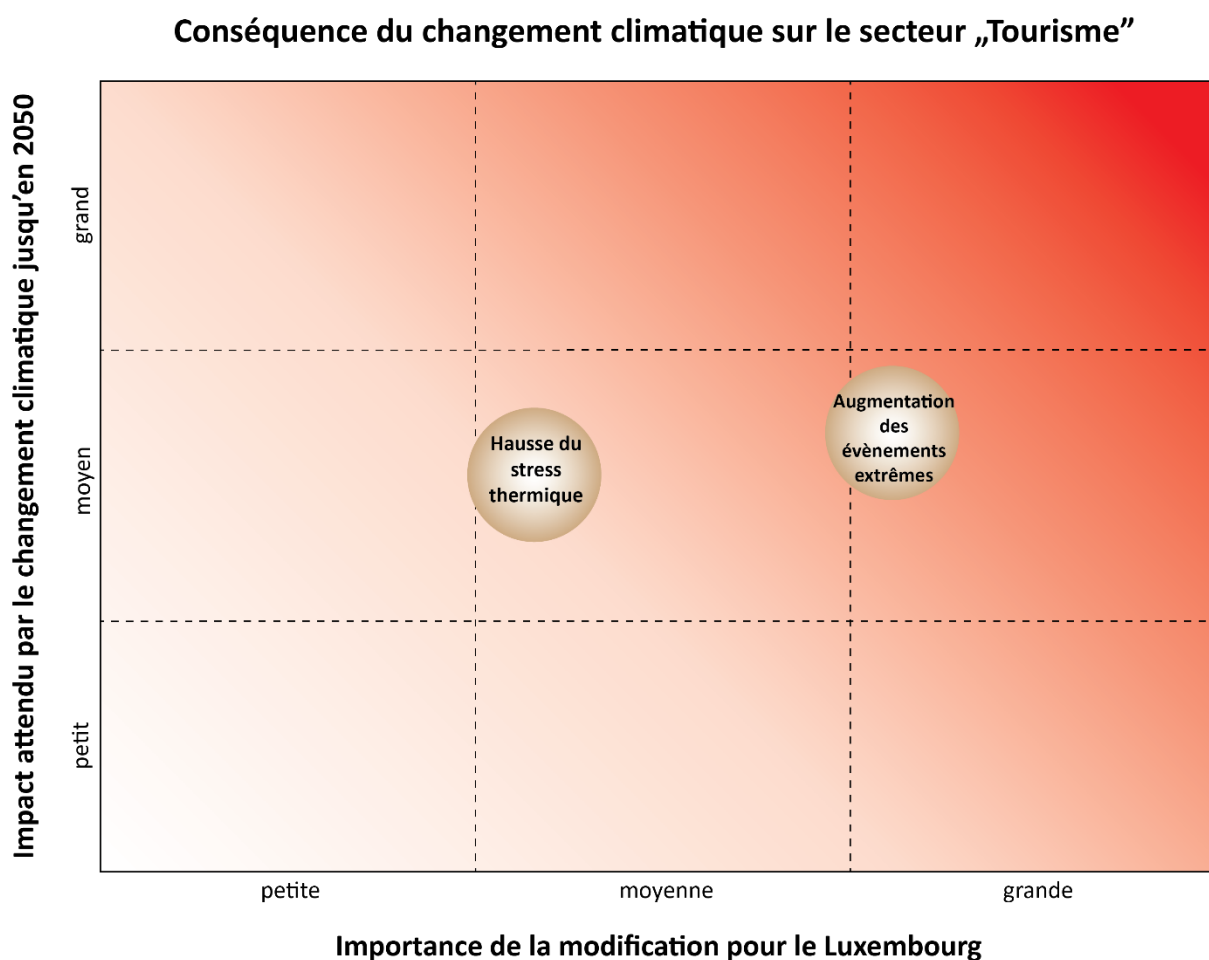
4.10.1. Impact du changement climatique sur ce secteur

D'après les estimations du *World Tourism and Travel Council* (WTTC), le tourisme a contribué en 2012 directement ou indirectement à raison de 5,7 % au PIB du Luxembourg. Ce secteur occupe 7,6 % du marché du travail⁹. Le Gouvernement du Grand-Duché voit dans le tourisme d'affaires et le tourisme de congrès des piliers de cette branche économique. Ici, les risques liés aux répercussions du changement climatique sont surtout ceux que l'augmentation potentielle des événements extrêmes tels que les inondations, précipitations intenses ou tempêtes fait peser sur les infrastructures.

Par ailleurs, les plus fortes pressions de la chaleur dans des conditions météorologiques de vent faible et d'inversion thermique constituent un défi pour le tourisme urbain. On citera dans ce contexte une étude de Matzarakis et al. (2013) qui a examiné l'évolution du climat et ses impacts sur le tourisme. Pour le Grand-Duché, les résultats prévoient à l'avenir une augmentation du stress dû à la chaleur et au temps lourd et humide d'une part et une baisse du stress dû au froid d'autre part. Les futures phases de planification du secteur du tourisme doivent se fonder sur ces informations.

⁹ <http://www.luxembourg.public.lu/de/le-grand-duche-se-presente/luxembourg-tour-horizon/economie-et-secteurs-cles/>

4.10.2. Matrice à 9 champs sur les impacts climatiques



4.10.3. Impacts climatiques priorités

En se fondant sur les résultats du classement des impacts climatiques identifiés dans la matrice à 9 champs, on considère comme prioritaires les impacts climatiques suivants :

- Augmentation des événements météorologiques extrêmes

4.10.4. Recommandations d'actions

Eu égard à l'horizon de planification politique visé jusqu'en 2030, la mesure découlant des impacts climatiques priorités est établie dans le chapitre 5.10. Elle se présente comme suit :

- Informer les touristes sur les événements météorologiques extrêmes

4.11. Espaces urbains

4.11.1. Impact du changement climatique sur ce secteur

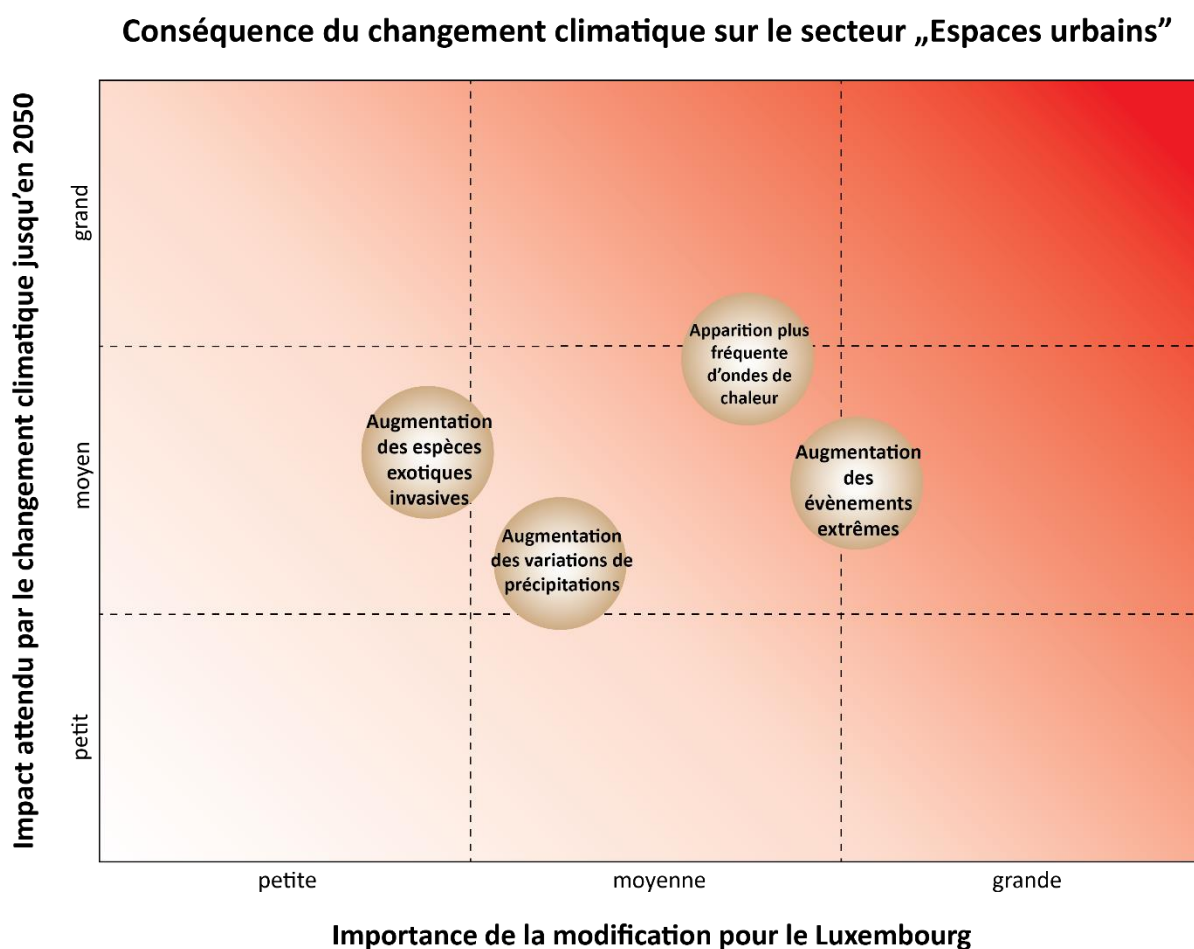
Au Luxembourg, le climat urbain présente des particularités notamment dans la zone d'agglomération autour de la capitale (HHP, 2009). Etant donné la dynamique intense de développement, cette problématique ira en s'aggravant (Ministère du Développement durable et des Infrastructures, 2012). Les longues périodes de chaleur et l'aération moins intense qu'apporte le changement climatique font que les zones urbaines sont moins rafraichies pendant la nuit. Si la chaleur se maintient également pendant la nuit en raison de l'absence de processus d'échange d'air, elle affecte le système cardiovasculaire et constitue une menace pour la santé, en particulier celle des groupes à risque. Les espaces verts et les espaces libres contribuent à réguler les pressions de la chaleur sur les habitants en milieu urbain.

L'augmentation prévue de l'intensité des précipitations fait croître le risque d'inondation là où les capacités d'évacuation des égouts en place sont surchargées. Pour faire baisser cette sollicitation excessive, la fonction tampon des espaces libres et des espaces verts prend ici toute son importance.

La hausse des températures imputable au changement climatique a également des répercussions sur les écosystèmes urbains. Elle favorise d'une part la prolongation de la période végétative et d'autre part la prolifération d'organismes nuisibles et leur immigration (p. ex. le bupreste du thuya, le tigre du platane et diverses espèces de longicornes), ce qui impose de plus grands efforts d'entretien et de soin. D'autres espèces déjà introduites de longue date, comme p. ex. le puceron lanigère du pommier, peuvent gagner du terrain dans les espaces verts urbains. Il faudra alors éventuellement reconsidérer le choix des espèces végétales appropriées pour la plantation d'espaces verts en milieu urbain.

Les périodes de canicule plus fréquentes en été donnent naissance à des îlots de chaleur dans les zones urbaines et peuvent constituer une menace pour la santé et favoriser l'apparition de maladies (p. ex. maladies cardio-vasculaires) (voir également à ce propos les chapitres 4.6 et 4.8).

4.11.2. Matrice à 9 champs sur les impacts climatiques



4.11.3. Impacts climatiques priorités

En se fondant sur les résultats du classement des impacts climatiques identifiés dans la matrice à 9 champs, on considère prioritaires les impacts climatiques suivants :

- Apparition plus fréquente d'ondes de chaleur
- Augmentation des événements météorologiques extrêmes

4.11.4. Recommandations d'actions

Eu égard à l'horizon de planification politique visé jusqu'en 2030, les mesures découlant des impacts climatiques priorités sont établies dans le chapitre 5.11. Elles se présentent comme suit :

- Élaborer un schéma intégré d'aménagement urbain pour la prise de mesures d'urbanisme visant à réduire les ondes de chaleur
- Vérifier les infrastructures urbaines eu égard à l'augmentation des événements météorologiques extrêmes et élaborer des schémas d'adaptation des constructions

4.12. Régime hydrologique et gestion de l'eau

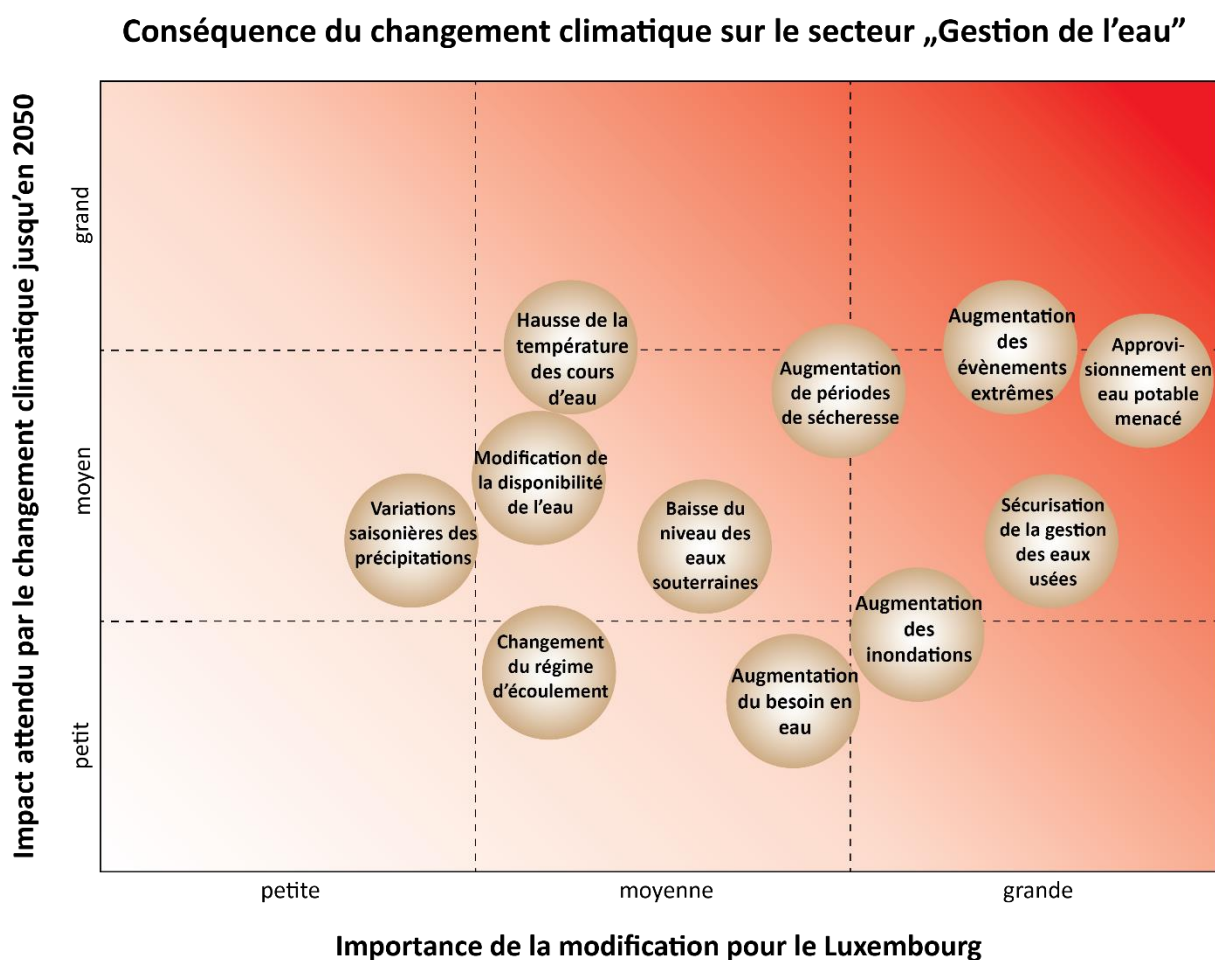
4.12.1. Impact du changement climatique sur ce secteur

Environ 44 000 000 m³ d'eau (information pour l'année 2017) sont prélevés tous les ans dans les eaux souterraines et les eaux de surface du Grand-Duché de Luxembourg. L'eau prélevée provient pour moitié environ des eaux souterraines et pour moitié du lac de barrage de la Haute-Sûre. Les prélèvements sont regroupés en deux grandes catégories : prélèvements d'eau destinée à la production d'eau potable et prélèvements d'eau destinée aux usages industriels et agricoles (Le gouvernement du Grand-Duché de Luxembourg, 2015).

Le changement climatique pose des défis majeurs à la gestion de l'eau. Des événements potentiellement plus fréquents de fortes précipitations, d'inondation, d'étiage sévère et de sécheresse compromettent notamment l'approvisionnement en eau potable dont la moitié est couverte par les eaux souterraines. L'irrégularité des précipitations pèse sur les niveaux de la nappe phréatique. Par ailleurs, une grande partie de l'eau potable du Luxembourg est prélevée dans le lac de barrage de la Haute-Sûre qui subit, dès à présent, une pollution importante par les cyanobactéries et les algues vertes. Cette pollution s'aggraverait à l'avenir suite à la hausse de la température et du rayonnement solaire en conjugaison avec des apports élevés de nutriments.

Les variations saisonnières des précipitations posent également d'importants défis à la gestion des eaux urbaines. Le réseau hydrographique luxembourgeois est essentiellement constitué de petits ruisseaux dont le débit se réduira dorénavant pendant les mois d'été, ce qui aura des impacts sur les valeurs de flux sortant des stations d'épuration.

4.12.2. Matrice à 9 champs sur les impacts climatiques



4.12.3. Impacts climatiques priorités

En se fondant sur les résultats du classement des impacts climatiques identifiés dans la matrice à 9 champs, on considère comme prioritaires les impacts climatiques suivants :

- Sécurité de l'approvisionnement en eau potable menacée (avec prise en compte des aspects phytosanitaires)
- Augmentation des précipitations intenses locales/événements extrêmes et des dommages imputables aux inondations
- Augmentation des périodes de sécheresse
- Hausse des températures de l’eau
- Sécurité de l'évacuation des eaux menacée

4.12.4. Recommandations d'actions

Eu égard à l'horizon de planification politique visé jusqu'en 2030, les mesures découlant des impacts climatiques priorités sont établies dans le chapitre 5.12. Elles se présentent comme suit :

- Prendre en compte les événements pluvieux intenses dans le deuxième Plan de gestion des risques d'inondation
- Prendre des mesures visant à abaisser la température de l'eau
- Protéger les ressources actuelles et futures d'eau potable (en termes quantitatifs et qualitatifs)
- Adapter le traitement des eaux usées et faire un usage efficace des eaux usées

4.13. Activité économique

4.13.1. Impact du changement climatique sur ce secteur

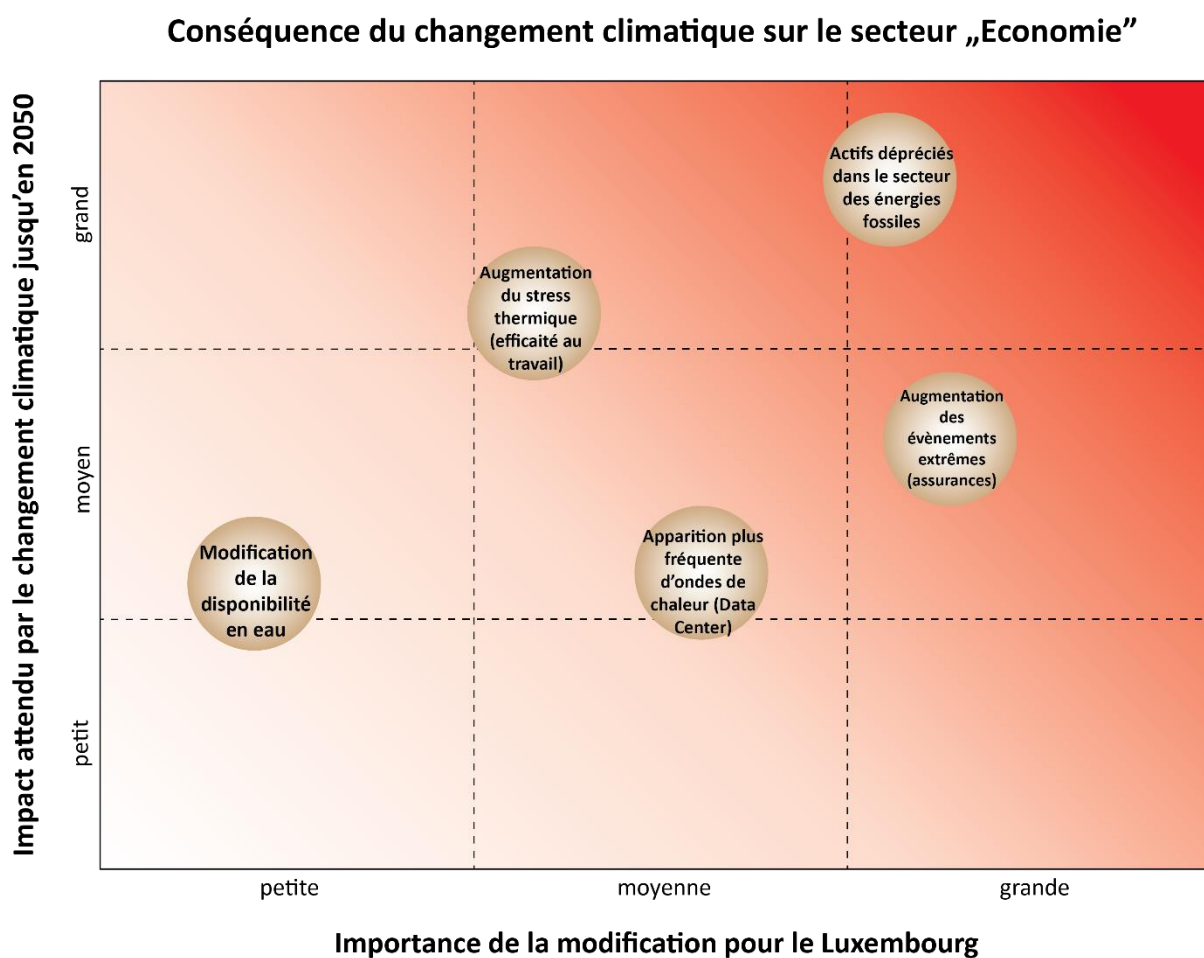
L'économie du Luxembourg est concentrée sur le secteur des services et en premier lieu sur l'économie financière. Les services représentent ainsi 86,8 % du produit intérieur brut, suivis de l'industrie avec 12,9 % et l'agriculture avec 0,3 %¹⁰. En termes d'efficacité des matériaux investis par rapport à la production de richesse (resource productivity), l'économie luxembourgeoise est parmi les plus performantes de l'UE (env. 3,4 €/kg par rapport à la moyenne de l'UE qui correspond à 2 €/kg) (EC, 2017).

Les effets du changement climatique touchent surtout le secteur économique en cela qu'ils exposent les infrastructures au risque d'événements extrêmes plus fréquents, tels que les ondes de chaleur, les précipitations intenses ou les tempêtes, qui se répercutent directement sur l'économie. Les infrastructures informatiques, le fret aérien et ferroviaire ou encore le transport fluvial de marchandises peuvent être affectés par ces événements. En outre, les ondes de chaleur prolongées font baisser la productivité humaine et augmenter le taux de défaillance et d'absence des employés. Il faut également compter avec une plus grande consommation d'énergie et d'eau pour les besoins de rafraîchissement. Enfin, les impacts climatiques survenant dans d'autres régions du monde peuvent influencer sur ce secteur.

10

http://www.statistiques.public.lu/stat/TableViewer/tableView.aspx?ReportId=13167&IF_Language=fra&MainTheme=5&FldrName=2&RFPPath=21

4.13.2. Matrice à 9 champs sur les impacts climatiques



4.13.3. Impacts climatiques priorités

En se fondant sur les résultats du classement des impacts climatiques identifiés dans la matrice à 9 champs, on considère prioritaires les impacts climatiques suivants :

- Baisse de capacité de travail et d'efficacité due au stress thermique
- Augmentation des événements extrêmes (secteur des assurances)
- Apparition plus fréquente d'ondes de chaleur (Data Center)
- Actifs dépréciés dans le secteur des énergies fossiles

4.13.4. Recommandations d'actions

Eu égard à l'horizon de planification politique visé jusqu'en 2030, les mesures découlant des impacts climatiques priorités sont établies dans le chapitre 0. Elles se présentent comme suit :

- Prendre des mesures constructives pour réduire la pression thermique dans les bâtiments d'exploitation (constructions nouvelles/rénovations)
- Adapter les services d'assurance

- Mettre au point une analyse des risques de survenance et des répercussions d'événements extrêmes sur le Data Center et établir un plan de mesures
- Évaluer l'analyse des risques économiques découlant des impacts du changement climatique

5. MESURES EN PLACE ET MESURES FUTURES

5.1. Construction et logement

5.1.1. Mesures en place

Une *aide financière pour conseil en énergie* est proposée par l'Administration de l'environnement. Ce conseil constitue la base de tout projet d'investissement ayant pour objectif l'utilisation rationnelle de l'énergie et le développement de sources d'énergies renouvelables.

Plus d'informations :

<http://www.guichet.public.lu/citoyens/de/logement/construction/aides-capital/aide-financiere-conseil-energie/index.html>

Impacts climatiques pertinents : températures plus élevées en été, réduction de la demande de chauffage en hiver

L'étude stratégique « La troisième révolution industrielle au Luxembourg » (*3rd Industrial Revolution Strategy* – The TIR Consulting Group LLC, 2016) propose entre autres la feuille de route suivante pour sécuriser les bâtiments face aux impacts du changement climatique et pour augmenter leur résilience :

- Promouvoir l'utilisation d'éléments et de méthodes de construction standardisés
- Adapter le cadre réglementaire pour stimuler la rénovation des bâtiments
- Mettre en place des incitations financières pour la rénovation des bâtiments
- Élaborer un plan d'action pour la rénovation des bâtiments

Il est par ailleurs prévu de mettre en place un *Resilience Commissioner* compétent pour les questions de résilience dans les secteurs de l'économie, de la société et de l'environnement.

Plus d'informations :

http://imslux.lu/eng/nos-activites/pole-de-specialites/8_the-third-industrial-revolution-in-luxembourg

Impacts climatiques pertinents : répercussions plus intenses des événements météorologiques extrêmes, températures plus élevées en été, risque d'incendie croissant

5.1.2. Mesures futures

Les deux mesures suivantes sont définies pour le secteur 'Construction et logement'. La mise en œuvre des mesures dépend de la mise à disposition de ressources financières et humaines suffisantes.

Désignation de la mesure	<i>Adapter les normes de construction aux conditions climatiques plus critiques et aux modifications annoncées par les projections</i>
Code mesure	BW01
Impact climatique	Répercussions plus intenses des événements extrêmes, températures plus élevées en été, augmentation des précipitations en hiver
Secteur	Construction & logement
Type de mesure	Réglementation, politique des finances, sensibilisation, infrastructures
Objectif de la mesure	Augmenter la sécurité des bâtiments face aux conditions climatiques plus critiques et aux modifications annoncées par les projections
Description de la mesure	Limiter l'emprise au sol des constructions et éviter l'imperméabilisation / le compactage des sols, p. ex. en : • Désimperméabiliser les surfaces, démanteler ou démolir les bâtiments ou infrastructures, • Préserver les surfaces de rétention, d'inondation et d'infiltration, • Augmenter le taux d'enherbement au sein et autour des zones urbaines en aménageant des parcs, arbres, plans d'eau, jardins, toitures et façades végétales, forêts périphériques (« rafraîchisseurs urbains »), • Mettre en place des plans d'eau en mouvement, • Mettre en place des protections solaires et thermiques, • Produire les denrées alimentaires en secteur urbain et mettre en place une gestion agro-urbaine combinée des nutriments, • Assurer le rafraîchissement nocturne via des systèmes d'échange urbains à l'échelle régionale, préserver les surfaces climatisantes, • Augmenter le pouvoir réfléchissant des bâtiments (surfaces claires), • Assurer l'approvisionnement en eau potable et industrielle, • Economiser l'énergie et l'eau, améliorer l'efficacité, • Développer des systèmes d'alerte précoce aux inondations, • Éviter le compactage du sol dans la construction, • Permettre des rénovations ultérieures, • Établir des règlements des bâtisses et PAG/PAP résilients au climat.
Observations supplémentaires	
Responsabilité de mise en œuvre	Ministère de l'Intérieur, Ministère de l'Énergie et de l'Aménagement du territoire
Acteurs concernés	Communes, Ordre des Architectes et des Ingénieurs-Conseils (OAI), Association des techniciens du bâtiment, ITM
Indicateur de suivi des progrès réalisés dans la mise en œuvre	Développement des surfaces vertes, surfaces végétalisées, jardins etc.

Désignation de la mesure	Élaborer un guide sur la « construction adaptée au changement climatique »
Code mesure	BW02
Impact climatique	Répercussions plus intenses des événements météorologiques extrêmes, températures plus élevées en été
Secteur	Construction & logement
Type de mesure	Réglementation, politique des finances, sensibilisation, infrastructures, recherche
Objectif de la mesure	Mettre en place un portefeuille immobilier résilient au climat
Description de la mesure	Les bâtiments ont une durée de vie d'au moins 50 ans et seront par conséquent touchés par le changement climatique. Une architecture non adaptée à des températures plus élevées ne peut être maintenue climatiquement agréable que si les techniques du bâtiment sont modernisées postérieurement au prix d'une consommation d'énergie considérable et de coûts d'exploitation accrus. Il est difficile de justifier des mesures réglementaires à un horizon aussi lointain. En abaissant les coûts d'exploitation au cours des étés extrêmes (actuels), on motive déjà les maîtres d'ouvrage à mettre en œuvre cette mesure. Il convient de créer les incitations supplémentaires suivantes : • Développer des instruments de financement et d'incitation à la construction et à la rénovation durables des bâtiments • Prime à la désimperméabilisation des sols Accompagnés des renseignements pertinents – sous la forme d'une brochure – ces outils sont susceptibles d'accroître la volonté de mettre en œuvre cette mesure : • Représenter les évolutions climatiques attendues et les besoins en énergie supplémentaires qui en résultent pour les bâtiments conventionnels. • Fixer un ordre de priorité des mesures de climatisation des bâtiments : la priorité est à accorder aux mesures passives : ◦ Minimiser les sources thermiques internes, ◦ Permettre l'aération par les fenêtres (même par vent fort), ◦ Veiller à la protection contre le rayonnement (même par vent fort), ◦ Choisir des plans de sol et des géométries de façades et de logements appropriés, ◦ Dimensionner l'isolation en fonction des besoins, ◦ Incorporer dans la construction une masse thermique suffisante (éventuellement des matériaux à changement de phase), ◦ Prévoir un fenêtrage efficace en termes de rapport entre l'utilisation de la lumière du jour et l'apport thermique, ◦ Augmenter l'évaporation par la végétation environnante, ◦ Mettre à disposition les coordonnées des planificateurs et artisans qui travaillent selon ces règles, ◦ Installer des systèmes de refroidissement actifs en profitant éventuellement du refroidissement nocturne.
Observations supplémentaires	• http://MeteoLux.lu/fr/vigilances/dangers-meteorologiques/ • 3rd Industrial Revolution Strategy • https://www.kbob.admin.ch/kbob/de/home/publikationen/nachhaltiges-bauen.html
Responsabilité de mise en œuvre	Ministère du Logement, Ministère de l'Intérieur, Ministère l'Environnement, du Climat et du Développement durable, Ministère de l'Énergie et de l'Aménagement du territoire
Acteurs concernés	Communes, Ordre des Architectes, Association des techniciens du bâtiment

Indicateur de suivi des progrès réalisés dans la mise en œuvre	• Rapport d'étape sur la mise en œuvre • Brochure élaborée
--	---

5.2. Énergie

5.2.1. Mesures en place

L'étude stratégique « La troisième révolution industrielle au Luxembourg » (*3rd Industrial Revolution Strategy* – The TIR Consulting Group LLC, 2016) propose entre autres le plan d'action suivant pour le secteur de l'énergie :

- Promouvoir le déploiement des énergies renouvelables en adaptant le cadre réglementaire et en simplifiant les processus

Ces mesures visent à promouvoir le perfectionnement technique, à augmenter la compétitivité, à faciliter les autorisations et l'accès à la biomasse ainsi qu'à adapter la gestion des terres.

Plus d'informations :

http://imslux.lu/eng/nos-activites/pole-de-specialites/8_the-third-industrial-revolution-in-luxembourg

Impacts climatiques pertinents : production de biomasse plus élevée, modification de la demande en électricité

5.2.2. Mesures futures

Les trois mesures suivantes sont définies pour le secteur 'Énergie'. La mise en œuvre des mesures dépend de la mise à disposition de ressources financières et humaines suffisantes.

Désignation de la mesure	<i>Vérifier et adapter les infrastructures d'énergie existantes quant à leur vulnérabilité vis-à-vis d'événements extrêmes</i>
Code mesure	E01
Impact climatique	Altération progressive de l'alimentation en énergie, sous l'effet d'événements extrêmes
Secteur	Énergie
Type de mesure	Réglementation, politique des finances, sensibilisation, infrastructures, recherche
Objectif de la mesure	Protéger les infrastructures énergétiques, assurer l'approvisionnement même en cas d'évolution de la demande
Description de la mesure	Les infrastructures énergétiques se caractérisent par un haut degré d'interdépendance. En cas de défaillance de lignes électriques majeures, l'effacement de consommation électrique touche rapidement à ses limites. Les voies d'acheminement des combustibles fossiles sont également soumises aux risques d'événements météorologiques extrêmes.

	La production d'énergie dans les raffineries et les centrales à récupération d'énergie est vulnérable aux impacts météorologiques. Les rejets d'eaux de refroidissement des centrales thermiques dans les fleuves sont soumis à conditions. Les consommateurs sont souvent en mesure de choisir entre différents vecteurs d'énergie, ce qui, en cas de défaillance d'un vecteur, peut surcharger l'approvisionnement du fournisseur d'énergie alternatif. Dans le cadre de cette mesure, les étapes suivantes sont p. ex. à fixer : • Établir des cartes de vulnérabilité en recoupant les plans des zones à risque avec les cartes des infrastructures d'énergie, • Limiter les impacts du changement climatique sur les infrastructures de transport en veillant par exemple à une couverture des conduites (gazoducs et oléoducs) d'au moins 2 m, en maintenant les pylônes à haute tension éloignés des zones à risque et en les dimensionnant pour des charges de vent et de gel plus élevées, • Identifier les effets de cascade, • Fixer le degré de redondance dans la production et le transport d'énergie, • Considérer les aléas météorologiques dans le cadre de la sélection de variantes possibles, • Considérer les impacts du changement climatique dans le cadre de l'autorisation et la surveillance des réseaux de transport et de distribution d'énergie, • Réagir à la disponibilité réduite d'eau de refroidissement en améliorant la prévision hydrologique et la gestion de l'exploitation, en passant à une production d'énergie non thermique (p. ex. éolienne ou solaire), en optant pour le refroidissement par condensation, • Vérifier la réglementation relative à la restitution des eaux de refroidissement, • Réagir à la baisse de rendement des centrales hydroélectriques en situation d'étiage en améliorant la prévision hydrologique et la gestion de l'exploitation • Promouvoir et appliquer une production décentralisée.
Observations supplémentaires	3rd Industrial Revolution Strategy ftp://ftp.zew.de/pub/zew-docs/gutachten/ZEW_Indikatorenbericht_2012.pdf
Responsabilité de mise en œuvre	Ministère de l'Énergie et de l'Aménagement du territoire, Ministère de l'Environnement, du Climat et du Développement durable
Acteurs concernés	Secteurs de l'énergie, de la télécommunication, du transport, de l'eau, des finances et assurances, communes, conseillers en énergie
Indicateur de suivi des progrès réalisés dans la mise en œuvre	• Elasticité du prix de la demande par rapport à la consommation totale • Volatilité des prix du marché d'électricité au comptant • Garantie de capacité restante au moment de la charge maximale et au cours de l'année (production d'énergie) • Degré d'interconnexion des réseaux électriques • Capacité des réservoirs de gaz naturel par rapport à la consommation annuelle en gaz naturel • System Average Interruption Index (SAIDI électricité et gaz) • Qualité de la tension dans les réseaux électriques
Désignation de la mesure	Mesures de sensibilisation à l'économie d'énergie, au déploiement d'énergie solaire décentralisée et à d'autres sources énergie non utilisées
Code mesure	E02
Impact climatique	Modification de la demande en électricité

Secteur	Énergie
Type de mesure	Réglementation, politique des finances, sensibilisation, infrastructures, recherche
Objectif de la mesure	Lutter contre la surcharge du réseau électrique et augmenter le pourcentage d'énergie renouvelable
Description de la mesure	La variation journalière et la criticité temporelle de la demande en énergie électrique diminueront à l'avenir avec l'électrification accrue du parc automobile. La demande croissante en énergie électrique pour le refroidissement pourra elle aussi être couverte avec une certaine flexibilité temporelle. Les deux types de demande peuvent avoir un « effet tampon » sur la charge du réseau ce qui permettra de recourir davantage aux énergies renouvelables. Une forte initiative individuelle est indispensable à la mise en œuvre de cette mesure. Dans le cadre de cette mesure, les étapes suivantes sont p. ex. à fixer : • Éliminer les obstacles techniques et les restrictions (en ce qui concerne par exemple l'alimentation du réseau public), • Renforcer la motivation en accordant des subventions, • Promouvoir la standardisation des techniques, • Sensibiliser les architectes, bureaux d'étude et maîtres d'ouvrage à l'utilisation d'énergie solaire, • Développer des labels/certificats favorisant l'utilisation d'énergie solaire, • Identifier les potentiels d'exploitation de sources d'énergie non encore utilisées, • Encourager le stockage d'énergie, • Encourager la consommation spontanée d'énergie, • Encourager les projets pilotes
Observations supplémentaires	3rd Industrial Revolution Strategy http://www.isi.fraunhofer.de/isi-wAssets/docs/n/de/publikationen/Zukunftsmarkt Stromspeicherung.pdf
Responsabilité de mise en œuvre	Ministère de l'Environnement, du Climat et du Développement durable, Ministère de l'Énergie et de l'Aménagement du territoire
Acteurs concernés	Secteur de l'énergie, gestionnaires de réseaux, secteurs de la télécommunication, du transport, des finances et des assurances, MyEnergy
Indicateur de suivi des progrès réalisés dans la mise en œuvre	• Part dans le mix énergétique • Volatilité des prix du marché d'électricité au comptant

Désignation de la mesure	<i>Développer des centrales biomasse en tenant compte des aspects de durabilité</i>
Code mesure	E03
Impact climatique	Production de biomasse plus élevée, altération progressive de l'approvisionnement en énergie due aux événements extrêmes
Secteur	Énergie
Type de mesure	Réglementation, politique des finances, sensibilisation, infrastructures
Objectif de la mesure	Augmenter le pourcentage d'énergie renouvelable ; production d'énergie redondante et décentralisée
Description de la mesure	Réglables et décentralisées, les centrales biomasse sont des centrales de production d'énergie renouvelable qui contribuent sensiblement à l'approvisionnement durable en énergie. La biomasse (p. ex. les déchets agricoles et forestiers, les déchets verts, les boues d'épuration et liqueurs

	noires, les résidus industriels et commerciaux, les huiles alimentaires usagées) peut être transformée en chaleur à basse ou à haute température, en électricité, en biogaz, en gaz synthétique ainsi qu'en carburants. À côté d'impulsions motivatrices, l'application de cette mesure doit surtout amener à fixer des mesures réglementaires. En effet, l'utilisation de biomasse cultivée aux fins d'alimentation et de valorisation des matériaux (meubles, bois de construction, bioplastiques) est, dans la mesure du possible, toujours préférable à sa valorisation énergétique. Tout déboisement de surfaces forestières aux fins de la production de biomasse doit être évité. D'autres effets environnementaux négatifs découlant d'un usage plus intense des surfaces cultivées ne doivent pas entraîner de surfertilisation ni d'acidification des sols et des milieux aquatiques. Il convient d'éviter toute augmentation des émissions de gaz à effet de serre (surtout de gaz hilarant). Les étapes suivantes sont p. ex. à fixer pour mettre en œuvre cette mesure : • Éliminer les obstacles techniques et les restrictions, • Mettre en place un quota de déchets biologiques à utiliser (pourcentage du volume total de biomasse), • Surveiller les standards écologiques dans la production de biomasse, • Renforcer la motivation en accordant des subventions.
Observations supplémentaires	https://www.vde.com/de/etg/arbeitsgebiete/informations-detailseiten/biomassekraftwerke
Responsabilité de mise en œuvre	Ministère de l'Énergie et de l'Aménagement du territoire, Ministère de l'Agriculture, de la Viticulture et du Développement rural, Ministère de l'Environnement, du Climat et du Développement durable
Acteurs concernés	Secteurs de l'énergie, de l'agriculture et de la sylviculture, gestionnaires de réseaux, secteurs du transport, des finances et assurances
Indicateur de suivi des progrès réalisés dans la mise en œuvre	• Part dans le mix énergétique • Volatilité des prix du marché d'électricité au comptant

5.3. Sylviculture

5.3.1. Mesures en place

Le guide de gestion forestière « Leitfaden für forstliche Bewirtschaftungsmaßnahmen von geschützten Waldbiotopen » (Le gouvernement du Grand-Duché de Luxembourg, 2017) propose les mesures suivantes qui sont pertinentes pour l'adaptation au changement climatique :

- Soins sélectifs au recrû et au fourré,
- Nettoiement, mise en place d'éclaircies et de pistes de soins culturaux dans le perchis,
- Eclaircies dans le fourré,
- Préservation du bois mort et des arbres à cavités,
- Modes d'exploitation forestière respectueuses des sols,
- Régénération naturelle du chêne en tant qu'essence cible,
- Sylviculture écologique et préservation d'essences typiques du milieu,

- Exploitation du bois par arbres individuels ou par groupes d'arbres,
- Favoriser la régénération naturelle,
- Sylviculture écologique, préservation des forêts de feuillus appropriés au site,
- Gestion des taillis,
- Préservation des essences forestières typiques du milieu,
- Préservation et développement de lisières de forêt structurées,
- Préservation des bosquets.

Renseignements complémentaires :

<http://www.environnement.public.lu/forets/dossiers/pfn/documents/Leitfaden-160330.pdf>

Impacts climatiques pertinents : augmentation des organismes nuisibles indigènes, modification de la composition des espèces / des essences, espèces exotiques envahissantes, dommages forestiers abiotiques, augmentation du risque de feux de forêt

La plateforme en ligne intitulée *Invasive Alien Species in Luxembourg* (www.neobiota.lu) renseigne sur les espèces envahissantes, leur importance et leur répartition sur le territoire grand-ducal.

Plus d'informations :

<https://neobiota.lu/en/>

Impacts climatiques pertinents : augmentation des organismes nuisibles indigènes

Mise en œuvre et amendement de la loi relative à la chasse et établissement d'un plan de tir pour certaines espèces de gros gibier

Plus d'informations :

<https://environnement.public.lu/fr/peche/chasse.html>

Impacts climatiques pertinents : espèces exotiques envahissantes

5.3.2. Mesures futures

Les trois mesures suivantes sont définies pour le secteur 'Sylviculture'. La mise en œuvre des mesures dépend de la mise à disposition de ressources financières et humaines suffisantes.

Désignation de la mesure	<i>Dresser une cartographie complète des biotopes forestiers et élaborer un catalogue de mesures pour une sylviculture viable dans le contexte d'un climat en mutation</i>
Code mesure	F01
Impact climatique	Modification de la composition des espèces (d'arbres)
Secteur	Sylviculture

Type de mesure	Inventaire forestier, recherche, sensibilisation
Objectif de la mesure	Stabilisation et préservation à long terme des fonctions des écosystèmes forestiers eu égard aux modifications climatiques attendues. Dans toutes les forêts, veiller par ailleurs à privilégier, dans le cadre du processus de régénération végétale, des compositions d'espèces appropriées au site pour renforcer la résilience et la capacité d'adaptation.
Description de la mesure	Dans le cadre de cette mesure, les étapes suivantes sont p. ex. à fixer : • Cartographier les biotopes forestiers sur l'ensemble du territoire, • Identifier les forêts sensibles au climat, • Recherche et suivi visant à recenser et à surveiller la diversité génétique et le potentiel d'adaptation, • Recherche visant à recenser les impacts des néophytes envahissants sur les fonctions de la forêt • Suivi des néophytes, • Suivi de l'étendue et des répercussions de la pression d'abrutissement exercée par les ongulés sauvages sur la composition des essences, • Élaborer un catalogue de mesures pour une sylviculture durable.
Observations supplémentaires	Leitfaden für forstliche Bewirtschaftungsmaßnahmen von geschützten Waldbiotopen (Administration de la nature et des forêts, 2017) Pan-European Indicators for Sustainable Forest Management (Forest Europe, 2015)
Responsabilité de mise en œuvre	Administration de la nature et des forêts
Acteurs concernés	Propriétaires forestiers, ouvriers forestiers, Administration de la nature et des forêts
Indicateur de suivi des progrès réalisés dans la mise en œuvre	Indicateurs FOREST EUROPE : 4.1 Richesse locale en essences forestières, 4.2 Régénération des forêts, 4.3 Caractère naturel des forêts, 4.4 Indigénat des essences forestières, 4.6 Diversité génétique des arbres, 2.4 Dommages aux peuplements forestiers

Désignation de la mesure	<i>Convertir les monocultures en forêts mixtes</i>
Code mesure	F02
Impact climatique	Augmentation des organismes nuisibles indigènes, espèces exotiques envahissantes, accélération des processus de transformation (dans les sols)
Secteur	Sylviculture
Type de mesure	Sylvicole, réglementaire, administrative
Objectif de la mesure	Stabiliser les écosystèmes forestiers au regard du risque de modifications climatiques en renforçant et, si nécessaire, en améliorant la sylviculture durable. Développer et mettre en œuvre des mesures d'adaptation appropriées (p. ex. conversion ou régénération suffisantes et appropriées de monocultures afin de les rendre stables et adaptables, ce qui renforcera leur résilience aux dommages forestiers tels que tempêtes, incendies de forêt ou espèces nuisibles). La mesure contribue par ailleurs à protéger le sol.
Description de la mesure	Dans le cadre de cette mesure, les étapes suivantes sont p. ex. à fixer : • Introduire des feuillus dans les monocultures d'épicéas, • Augmenter la diversité structurelle (c.-à-d. la diversité des hauteurs et des âges) et/ou la diversité des essences d'arbres, • Adapter les soins forestiers au site ou appliquer des méthodes de gestion (sylvicole) écocompatibles (c'est-à-dire spécifiques aux sites et aux peuplements), • Favoriser le rajeunissement naturel, • Lutter contre les organismes nuisibles (étudier les ennemis potentiels de ces nuisibles ainsi que leurs conditions de vie), • Poursuivre le suivi ciblé des organismes nuisibles actuellement soumis à quarantaine dans l'UE, élaborer des plans d'urgence,

	• Établir une plateforme de contrôle de la propagation de parasites et d'organismes vecteurs de maladies, • Développer les travaux de relations publiques en matière de changement climatique et de mesures sylvicoles, • Mettre en œuvre des projets visant à créer des forêts mélangées structurées et à les diversifier simultanément en y mélangeant (plantant) des essences (d'arbres) sélectionnées (entre autres plantation de chênes rouvres dans les peuplements monospécifiques de hêtres), l'objectif étant d'accroître la stabilité et la capacité d'adaptation des forêts, • Maintenir la part de chênes en appliquant des méthodes de régénération et de plantation adaptées dans le cadre de projets de suivi ayant pour objectif de maintenir la part de cette essence d'arbre importante dans l'adaptation au changement climatique.
Observations supplémentaires	Leitfaden für forstliche Bewirtschaftungsmaßnahmen von geschützten Waldbiotopen (Administration de la nature et des forêts, 2017) Pan-European Indicators for Sustainable Forest Management (Forest Europe, 2015)
Responsabilité de mise en œuvre	Administration de la nature et des forêts
Acteurs concernés	Propriétaires forestiers
Indicateur de suivi des progrès réalisés dans la mise en œuvre	Indicateur FOREST EUROPE : 4.3 Caractère naturel des forêts

Désignation de la mesure	<i>Préserver, améliorer ou restaurer les fonctions du sol forestier, dont notamment celles de réservoir d'eau et de carbone et de source nutritionnelle</i>
Code mesure	F03
Impact climatique	Accélération des processus de transformation dans les sols
Secteur	Sylviculture
Type de mesure	Sylvicole, financière
Objectif de la mesure	Préserver et développer les écosystèmes forestiers résilients à capacité naturelle de tampon, de réservoir et de filtre ; améliorer les sols forestiers dégradés afin de préserver l'effet protecteur des forêts.
Description de la mesure	Dans le cadre de cette mesure, les étapes suivantes sont p. ex. à fixer : • Mise en œuvre de la mesure F02 : Convertir les monocultures, • Subventionner suffisamment les modes d'exploitation forestière protégeant les sols et les eaux, • Sélectionner les essences d'arbres appropriées au site, • Favoriser l'exploitation de troncs individuels par rapport à celle consistant à faire des coupes rases, • Récolter le bois de manière à protéger le sol, • Fertiliser et/ou décalcifier éventuellement le sol, • Veiller à une quantité de gibier raisonnable et, si nécessaire, à une protection contre l'abrouissement et la frayure, • Améliorer les soins cultureux, notamment ceux apportés au fourré (phase de qualification), avec pour objectif d'accroître la stabilité et la vitalité et d'améliorer l'état de santé des forêts.
Observations supplémentaires	Leitfaden für forstliche Bewirtschaftungsmaßnahmen von geschützten Waldbiotopen (Administration de la nature et des forêts, 2017) Pan-European Indicators for Sustainable Forest Management (Forest Europe, 2015)
Responsabilité de mise en œuvre	Administration de la nature et des forêts
Acteurs concernés	Propriétaires forestiers
Indicateur de suivi des progrès réalisés dans la mise en œuvre	Indicateurs FOREST EUROPE : 1.4 Stock de carbone, 5.1 Forêts de protection

5.4. Infrastructures

5.4.1. Mesures en place

L'étude stratégique « La troisième révolution industrielle au Luxembourg » (*3rd Industrial Revolution Strategy* – The TIR Consulting Group LLC, 2016) propose entre autres les mesures suivantes pour le secteur 'Infrastructures' :

- Développement d'un programme fiable de suivi de la résilience qui permette d'une part de recenser les conditions de transport de passagers et de marchandises, les capacités des infrastructures ainsi que la consommation d'énergie et d'autre part d'utiliser ces données pour le développement de scénarios d'événements imprévus provoqués par exemple par le changement climatique.
- Des analyses de vulnérabilité seront menées à l'aide de modèles de transport pour mettre en évidence les effets d'erreurs dans les composantes du système (infrastructures, approvisionnement en énergie).

Plus d'informations :

http://imslux.lu/eng/nos-activites/pole-de-specialites/8_the-third-industrial-revolution-in-luxembourg

Impacts climatiques pertinents : modification des risques naturels potentiels, augmentation des effets économiques, sollicitation plus importante des matériaux, risque accru de défaillance

En ce qui concerne la navigation, les mesures suivantes sont décrites dans la *Strategy for the IRBD Rhine for adapting to climate change* (International Commission for the Protection of the Rhine, 2015) :

- Abaisser le chargement ou limiter le trafic fluvial en période d'étiage,
- Adapter la taille des bateaux,
- Creuser plus profondément le chenal pour assurer la navigation même en période d'étiage.

Plus d'informations :

http://www.iksr.org/fileadmin/user_upload/Dokumente_en/Reports/219_en.pdf

Impacts climatiques pertinents : navigation menacée

5.4.2. Mesures futures

Les deux mesures suivantes sont définies pour le secteur 'Infrastructures' : La mise en œuvre des mesures dépend de la mise à disposition de ressources financières et humaines suffisantes.

Désignation de la mesure	<i>Identifier les infrastructures critiques et engager des mesures de réduction de la vulnérabilité</i>
Code mesure	I01
Impact climatique	Perturbation des infrastructures sous l'effet de la chaleur
Secteur	Infrastructures
Type de mesure	Réglementation, politique des finances, infrastructures
Objectif de la mesure	Assurer la protection et la disponibilité des infrastructures critiques
Description de la mesure	Les infrastructures critiques sont très hétérogènes en termes de taille, de propriété, d'organisation et de gestion. Pourtant, elles sont souvent étroitement liées et dépendent les unes des autres. C'est pourquoi la présente mesure s'adresse à tous les acteurs en leur demandant de réévaluer et de limiter leur vulnérabilité et les conditions cadres modifiées sous l'effet du changement climatique. • Reconnaître de nouveaux risques potentiels, • Communiquer les risques potentiels identifiés aux autres acteurs dans le domaine des infrastructures critiques pour tenir compte du haut degré d'interdépendance, • Identifier les effets de cascade, • Identifier en commun des mesures appropriées de prévention des risques (en surveillant les processus) et de protection des structures et des technologies, • Identifier et ajuster en commun des mesures appropriées de gestion de crise, • Clarifier les obligations de déclaration et de rapportage, • Vérifier la couverture d'assurance, • Charger l'administration d'adapter les lignes d'action et les marges de sécurité, • Charger l'administration d'intégrer les crises provoquées par le changement climatique dans les obligations de déclaration et de rapportage.
Observations supplémentaires	3rd Industrial Revolution Strategy
Responsabilité de mise en œuvre	HCPN, Ministère de la Mobilité et des Travaux publics
Acteurs concernés	Acteurs des secteurs de l'énergie, de la télécommunication, du transport, de la santé, de l'eau, de l'alimentation, des finances et assurances
Indicateur de suivi des progrès réalisés dans la mise en œuvre	Existence de stratégies et de protocoles de crise

Désignation de la mesure	<i>Prendre en compte le changement climatique dans la conception de nouvelles infrastructures</i>
Code mesure	I02
Impact climatique	Modification des risques naturels potentiels (inondations, ...)
Secteur	Infrastructures
Type de mesure	Réglementation, politique des finances, infrastructures

Objectif de la mesure	Assurer la protection et la disponibilité des infrastructures critiques
Description de la mesure	L'évolution des conditions de précipitations laisse attendre des inondations, des glissements de terrain et des mouvements de masse plus fréquents et plus critiques. Dans le contexte de cette mesure, les étapes suivantes sont p. ex. à fixer : • Identifier les voies de transport sensibles, • En fonction de leur importance, protéger dès le stade de construction les routes, chemins de fer, aéroports, installations portuaires et écluses contre les inondations, les glissements de terrain et les affouillements, • Les systèmes de signalisation peuvent gagner en importance, en particulier en cas de crise, et doivent être protégés en conséquence, • Etant donné que les ouvrages de protection contre les inondations ne sont souvent pas dimensionnés pour les pointes de débit extraordinaires, il convient de désigner des surfaces supplémentaires comme corridors de crue. En cas de crue extrême, ces corridors assurent l'écoulement contrôlé des masses d'eau. • Les installations en sous-sol, dangereuses pour les eaux (réservoirs à mazout, entrepôts chimiques) doivent être protégées contre inondations. • La première règle à observer dans l'élaboration de différentes mesures de construction est de veiller à ce qu'elles soient facilement ajustables ultérieurement. Étudier les interactions avec différents usages et avec d'autres mesures, • Développer des systèmes de suivi et d'alerte précoce pour les infrastructures critiques, • Lutter contre l'imperméabilisation des sols, • Dresser une documentation systématique des événements naturels et mettre en place une base de données des dommages causés aux infrastructures critiques, • Adapter la planification et le dimensionnement des systèmes d'évacuation des eaux usées, • Adapter les normes de construction (ponts, matériaux de construction, ...).
Observations supplémentaires	3rd Industrial Revolution Strategy
Responsabilité de mise en œuvre	Ministère de la Mobilité et des Travaux publics, Ministère de l'Énergie et de l'Aménagement du territoire, communes
Acteurs concernés	Acteurs des secteurs de l'énergie, de la télécommunication, du transport, de la santé, de l'eau, de l'alimentation, des finances et assurances
Indicateur de suivi des progrès réalisés dans la mise en œuvre	Nombre de normes modifiées

5.5. Gestion des crises et des accidents majeurs

5.5.1. Mesures en place

L'étude stratégique « *Anpassung an den Klimawandel – Strategien für die Raumplanung* » (Ministère du Développement durable et des Infrastructures, 2012) recommande les mesures suivantes pour le secteur 'Gestion des crises et des accidents majeurs' :

- Adopter un comportement préventif notamment dans des endroits exposés au vent (p. ex. mesures de protection des toitures contre les tempêtes),
- Dans le cadre de la construction de nouveaux bâtiments et de la rénovation de bâtiments existants, veiller à ce que les façades – même celles des maisons isolées – soient aussi robustes que possible pour résister à la grêle,
- Contrôler régulièrement l'état et la stabilité des bâtiments et des toitures ainsi que des arbres (mesure à réaliser par les autorités compétentes ou les propriétaires).

Plus d'informations :

http://www.dat.public.lu/publications/documents/C-Change/CChange_conclusions.pdf

Impacts climatiques pertinents : survenance d'événements non dimensionnés jusqu'à présent, augmentation des dommages primaires et secondaires imputables aux risques naturels, effets amplifiés d'événements extrêmes, sécurité de l'approvisionnement énergétique menacée

L'étude stratégique « La troisième révolution industrielle au Luxembourg » (*3rd Industrial Revolution Strategy* – The TIR Consulting Group LLC, 2016) propose entre autres les mesures suivantes pour le secteur 'Gestion des crises et des accidents majeurs' :

- Développement d'un programme fiable de suivi de la résilience qui permette d'une part de recenser les conditions de transport de passagers et de marchandises, les capacités des infrastructures ainsi que la consommation d'énergie et d'autre part d'utiliser ces données pour le développement de scénarios d'événements imprévus provoqués par exemple par le changement climatique.
- Des analyses de vulnérabilité seront menées à l'aide de modèles de transport pour mettre en évidence les effets d'erreurs dans les composantes du système (infrastructures, approvisionnement en énergie).

Plus d'informations :

http://imslux.lu/eng/nos-activites/pole-de-specialites/8_the-third-industrial-revolution-in-luxembourg

Impacts climatiques pertinents : survenance d'événements non dimensionnés jusqu'à présent, augmentation des dommages primaires et secondaires imputables aux risques naturels, effets amplifiés d'événements extrêmes, mise en danger de la sécurité de l'approvisionnement énergétique

Au cours des années passées, différents plans d'intervention nationaux ont été élaborés dans le cadre de mesures préventives de protection civile ; ces plans sont importants dans le

contexte d'événements extrêmes plus fréquents et ils contribuent à préparer les acteurs aux interventions qui en résultent :

- Plan d'intervention d'urgence en cas d'intempéries,
- Plan d'intervention d'urgence en cas de rupture d'approvisionnement d'énergie,
- Plan d'intervention d'urgence en cas de rupture d'approvisionnement en eau potable.

Plus d'informations :

<http://www.infocrise.lu>

Impacts climatiques pertinents : survenance d'événements non dimensionnés jusqu'à présent, augmentation des dommages primaires et secondaires imputables aux risques naturels/effets amplifiés d'événements extrêmes, sécurité de l'approvisionnement en énergie et/ou en eau potable menacée

5.5.2. Mesures futures

Les quatre mesures suivantes sont définies pour le secteur 'Gestion des crises et des accidents majeurs' : La mise en œuvre des mesures dépend de la mise à disposition de ressources financières et humaines suffisantes.

Désignation de la mesure	<i>Faire évoluer les services d'urgence et la direction des interventions pour les adapter aux conditions climatiques changeantes</i>
Code mesure	K01
Impact climatique	Apparition d'événements non dimensionnés jusqu'à présent
Secteur	Gestion des crises et des accidents majeurs
Type de mesure	Sensibilisation, formation, recherche
Objectif de la mesure	Former les agents de la direction des interventions et des services d'urgence sur place aux risques accrus dus au changement climatique.
Description de la mesure	Dans le cadre de cette mesure, les étapes suivantes sont p. ex. à fixer : • Élaborer pour les agents des services d'urgence et de direction des interventions un programme de formation sur les conditions climatiques changeantes, • Actualiser régulièrement ce programme de formation en prenant en compte les nouveaux résultats de recherche sur les modifications dues au changement climatique, • Former (en continu) les agents des organismes d'intervention à la maîtrise des catastrophes afin d'assurer la coopération entre les différents niveaux directionnels cas d'événement majeur, • A l'avenir, les impacts des modifications climatiques seront davantage pris en compte dans la formation.
Observations supplémentaires	3rd Industrial Revolution Strategy
Responsabilité de mise en œuvre	Ministère de l'Intérieur, Ministère de la Sécurité intérieure, Corps grand-ducal d'incendie et de secours
Acteurs concernés	Services d'urgence (police, secours, pompiers), directions des interventions
Indicateur de suivi des progrès réalisés dans la mise en œuvre	• Nombre d'heures d'intervention en cas de sinistres dus aux conditions climatiques et météorologiques • Actions de formation • Services de secours actifs

Désignation de la mesure	<i>Suivre en continu les processus et événements de risques naturels et continuer à développer et à améliorer les méthodes et techniques d'identification de nouveaux processus naturels dangereux</i>
Code mesure	K02
Impact climatique	Augmentation des dommages primaires et secondaires imputables aux risques naturels, effets amplifiés d'événements extrêmes
Secteur	Gestion des crises et des accidents majeurs
Type de mesure	Recherche, réglementation, infrastructures
Objectif de la mesure	Suivre en permanence les processus générateurs de dangers et leurs modifications dues au climat, ce qui permettra à un stade précoce de s'apercevoir des processus et de leur évolution ainsi que de lancer des mesures.
Description de la mesure	Dans le cadre de cette mesure, les étapes suivantes sont p. ex. à fixer : • Identifier les processus générateurs de dangers et les infrastructures et secteurs à risque, • Suivre en continu les processus et événements générateurs de dangers identifiés et lancer sur cette base des mesures de prévention, de lutte et de remise en état. Identifier et surveiller les sources de danger connues et nouvelles, • Continuer à développer et à améliorer les méthodes et techniques d'identification de nouveaux processus générateurs de dangers naturels et de changements (entre autres prévisions météorologiques et hydrologiques).
Observations supplémentaires	3rd Industrial Revolution Strategy
Responsabilité de mise en œuvre	Administration de la gestion de l'eau, Administration des services techniques de l'agriculture, Administration de la navigation aérienne
Acteurs concernés	Acteurs concernés par des risques naturels, par exemple les représentants du monde agricole, d'entreprises de transport ou de fourniture d'énergie
Indicateur de suivi des progrès réalisés dans la mise en œuvre	Infrastructures à risque identifiées, nombre de processus générateurs de dangers soumis à surveillance dans le cadre d'un programme de suivi

Désignation de la mesure	<i>Intégrer les aspects du changement climatique dans la planification des systèmes d'évacuation des eaux de pluie et des eaux usées et des réseaux d'eau potable</i>
Code mesure	K03
Impact climatique	Approvisionnement en eau potable et traitement des eaux usées menacés
Secteur	Gestion des crises et des accidents majeurs
Type de mesure	Réglementation, infrastructures, recherche, formation
Objectif de la mesure	L'eau potable et les eaux usées répondent à tout moment aux exigences de qualité nécessaires et sont disponibles en quantités requises.
Description de la mesure	Dans le cadre de cette mesure, les étapes suivantes sont p. ex. à fixer : • Dans le domaine de la prévision des événements météorologiques extrêmes, renforcer la coopération avec les secteurs 'Régime hydrologique et gestion de l'eau', 'Santé humaine', 'Agriculture' et 'Aménagement du territoire', • Faire évoluer les systèmes existants tels que les système d'alerte aux intempéries, les prévisions d'événements de fortes pluies ou de sécheresse, • Lancer des plans spéciaux de protection civile, des programmes de formation et des exercices,

	Évaluer les programmes d'approvisionnement d'urgence en eau potable et les équipements (déterminer par exemple s'il existe un nombre suffisant de groupes électrogènes de secours ou de pompes).
Observations supplémentaires	Interface avec le secteur 'Régime hydrologique et gestion de l'eau'
Responsabilité de mise en œuvre	Ministère de l'Environnement, du Climat et du Développement durable, Administration de la gestion de l'eau
Acteurs concernés	Représentants de la gestion des eaux (communes), services d'urgence
Indicateur de suivi des progrès réalisés dans la mise en œuvre	Nombre d'appareils nécessaires à l'approvisionnement en eau et à l'évacuation des eaux

Désignation de la mesure	<i>Engager des mesures de protection robustes et adaptables</i>
Code mesure	K04
Impact climatique	Augmentation des coûts
Secteur	Gestion des crises et des accidents majeurs
Type de mesure	Réglementation, politique des finances, infrastructures, recherche, planification
Objectif de la mesure	Afin de réduire la vulnérabilité des zones urbanisées et des infrastructures et de maîtriser ainsi l'augmentation des coûts, il convient d'élaborer et de mettre en œuvre des stratégies de protection intégrées, solides et adaptables qui restent fonctionnelles même si les processus venaient à changer (p. ex. l'intensité des précipitations, quantités d'eau écoulée) ou qui peuvent être adaptées.
Description de la mesure	Dans le cadre de cette mesure, les étapes suivantes sont p. ex. à fixer : - Adapter les ouvrages de protection plus anciens aux exigences techniques et écologiques actuelles en tenant compte d'une modification des risques sous l'impact du climat, - Prendre en compte dans la planification d'ouvrages de protection les répercussions possibles d'un dépassement des paramètres de dimensionnement par des événements, - Prendre des mesures d'appui telles que la surveillance, l'avertissement précoce, les évacuations et les systèmes de blocage permettant de concentrer les dégâts dans les zones à faible potentiel de dommages.
Observations supplémentaires	
Responsabilité de mise en œuvre	Administration de la gestion de l'eau
Acteurs concernés	Ministères compétents, gestionnaires d'infrastructures critiques, aménagement du territoire
Indicateur de suivi des progrès réalisés dans la mise en œuvre	Investissements dans les ouvrages de protection et les mesures d'accompagnement

5.6. Aménagement du territoire

5.6.1. Mesures en place

L'étude stratégique « *Anpassung an den Klimawandel – Strategien für die Raumplanung* » (Ministère du Développement durable et des Infrastructures, 2012) recommande les mesures suivantes pour le secteur 'Aménagement du territoire' :

- Mesures d'économies d'eau : veiller à une alimentation hydrique naturelle de la végétation des espaces verts publics ; irrigation par les eaux de pluie et les eaux usées,
- Sélectionner des espèces d'arbres et d'arbustes résistantes à la sécheresse pour les espaces verts urbains,
- Lier la planification des systèmes de rétention et de répartition des eaux à l'aménagement d'espaces libres.

Plus d'informations :

http://www.dat.public.lu/publications/documents/C-Change/CChange_conclusions.pdf

Impacts climatiques pertinents : effet accru d'îlots de chaleur, modification des zones vulnérables

5.6.2. Mesures futures

Les deux mesures suivantes sont définies pour le secteur 'Aménagement du territoire'. La mise en œuvre des mesures dépend de la mise à disposition de ressources financières et humaines suffisantes.

Désignation de la mesure	« <i>Climate proofing</i> » de l'aménagement du territoire : élaboration intégrée et concertation renforcée des plans nationaux, communaux et sectoriels avec prise en compte du changement climatique
Code mesure	LP01
Impact climatique	Aggravation de conflits d'intérêt sur l'emprise des sols, réduction de la qualité, de la productivité et de la disponibilité des surfaces et sols
Secteur	Aménagement du territoire
Type de mesure	Réglementation, sensibilisation, infrastructures, communication
Objectif de la mesure	Le changement climatique (adaptation et protection) doit être affiché comme objectif dans les dispositions générales de la loi concernant l'aménagement du territoire et doit être vu et communiqué comme un défi multi-échelles et suprasectoriel. Pour limiter la vulnérabilité aux conditions climatiques plus critiques, les usages de nombreux secteurs d'occupation des sols doivent être plus extensifs et moins spécialisés et des « surfaces de régulation climatique » sont à désigner. Un aménagement du territoire multifonctionnel et intégrant les aspects de résilience au changement climatique permettra de désamorcer les conflits d'usage générés.
Description de la mesure	Dans le cadre de cette mesure, les étapes suivantes sont p. ex. à fixer : • <i>Climate proofing</i> de l'aménagement du territoire : développer de nouveaux outils d'aménagement du territoire

	• Veiller à la résilience au changement climatique dans l'aménagement régional et communal du territoire ainsi que dans les schémas directeurs d'urbanisme, p. ex. à travers les mesures suivantes : ○ Désigner des zones tampon autour d'endroits à risques, ○ Désigner des surfaces dont l'usage reste possible, sans risque ou restriction de grande ampleur, même sous l'effet du changement climatique, ○ Aménager des zones de compensation de manière qu'elles remplissent leur fonction écologique même sous l'effet du changement climatique annoncé par les projections, ○ Désigner les surfaces de régulation climatique, p. ex. pour le rafraîchissement nocturne ou la rétention des eaux, ○ Utiliser les surfaces de régulation climatique à plusieurs fins : p. ex. en tant que zones de rétention, parcs, zones agricoles en milieu urbain, ○ Sensibiliser et informer les acteurs dans le cadre de la planification de pôles de développement intercommunaux quant à des risques de formation d'îlots de chaleur en été, d'imperméabilisation et d'inondations, ○ Intensifier les activités de recherche pour identifier les implications dans les différents secteurs de l'aménagement du territoire, ○ Assurer l'usage multifonctionnel des surfaces (p. ex. des parkings relais à plusieurs étages avec toitures solaires et façades vertes ; bassin de réception : terrains de football, aires de jeux, ...), ○ Préserver et développer les espaces libres en aménageant des surfaces vertes à l'échelle locale et des zones/corridors verts aux échelles nationale, régionale et communale. Les prochaines étapes sont les suivantes : • Évaluer les études d'impact environnemental et les plans cadres de la conservation du paysage dans le contexte du changement climatique, • Stratégies de mobilité visant à réduire le trafic motorisé individuel, • Réduire les risques d'érosion et de compactage en optant pour des systèmes de gestion agricole appropriés, • Planifier l'occupation du sol de manière à préserver les biotopes et les zones humides et, si possible, à les régénérer, • Vérifier l'efficacité des plans mis en œuvre à l'aide de programmes de suivi. L'aménagement du territoire a pour fonction d'apporter des informations de base aux différents secteurs et niveaux de planification. Il peut apporter un soutien d'expert à l'échange et à la coopération des acteurs concernés. (Anpassung an den Klimawandel – Strategien für die Raumplanung in Luxemburg, p. 23)
Observations supplémentaires	http://www.dat.public.lu/publications/documents/C-Change/CChange_conclusions.pdf
Responsabilité de mise en œuvre	Ministère de l'Énergie et de l'Aménagement du territoire
Acteurs concernés	Communes, Ministère de l'Intérieur, Ministère de l'Environnement, du Climat et du Développement durable, Ministère de l'Agriculture, de la Viticulture et du Développement rural
Indicateur de suivi des progrès réalisés dans la mise en œuvre	• Surface bâtie en zones vulnérables • Surface bâtie en zones à risque d'inondation • Désignation de surfaces libres quand elles jouent un rôle de régulation climatique important dans les zones sous pression bioclimatique • Surveillance de l'érosion

Désignation de la mesure	Établir des plans des zones à risque et des cartes de vulnérabilité
Code mesure	LP02
Impact climatique	Modification des zones vulnérables
Secteur	Aménagement du territoire
Type de mesure	Réglementation, politique des finances, sensibilisation, infrastructures, recherche
Objectif de la mesure	Localiser les zones vulnérables
Description de la mesure	Sous l'effet de l'évolution des conditions de précipitation et de température, on s'attend à des inondations, des glissements de terrain, des mouvements de masse et des sécheresses plus fréquents et plus critiques. Cette mesure se décline en quatre étapes : • Modélisation géohydrologique des impacts des conditions de précipitation attendues. Il en résulte des plans des zones à risque pour les risques suivants : Inondation suite à une crue de récurrence de 10 ans, inondation suite à une crue de récurrence de 100 ans, crue extrême, risque de glissement de terrain suite à des précipitations intenses (restant à définir), • Modélisation des impacts des glissements de terrain, de l'érosion, du risque de feux de forêt et des tempêtes, • Identification et localisation de zones sensibles ; les zones sensibles sont des zones hébergeant des infrastructures critiques, une population dense, des valeurs élevées, des installations et entrepôts à risque ainsi que des biens culturels, • Etablissement des cartes de vulnérabilité par recoupement des plans des zones à risque avec les cartes des zones sensibles. Par ailleurs, les étapes suivantes sont possibles dans le cadre de cette mesure : • Etablissement d'un cadastre des événements, • Publication des cartes de vulnérabilité, • Publication de prévisions des crues.
Observations supplémentaires	http://www.dat.public.lu/publications/documents/CChange/CChange_conclusions.pdf https://eau.public.lu/directive_cadre_eau/directive_inondation/1er-cycle/HWRML-PL_final/HWRM-PL_2015_final_151218.pdf
Responsabilité de mise en œuvre	Ministère de l'Environnement, du Climat et du Développement durable, Administration de la gestion de l'eau
Acteurs concernés	Communes,
Indicateur de suivi des progrès réalisés dans la mise en œuvre	• Nombre de communes disposant de plans des zones à risque • Cartes de vulnérabilité actualisées • Cartes actualisées des zones inondables et des pluies intenses • Surveillance de l'érosion

Désignation de la mesure	Promouvoir les modes de planification et de construction efficaces sur le plan climatique et conseiller les acteurs
Code mesure	LP03
Impact climatique	Aggravation de conflits d'intérêt sur l'emprise des sols, pression croissante sur les espaces libres, modification des zones vulnérables
Secteur	Aménagement du territoire, construction et logement, espaces urbains
Type de mesure	Sensibilisation, communication
Objectif de la mesure	Élaborer un guide sur la mise en œuvre concrète de plans d'adaptation pour les communes et bureaux d'étude
Description de la mesure	Dans le cadre de cette mesure, les étapes suivantes sont p. ex. à fixer :

	• Amendement et <i>climate proofing</i> des PAG/PAP/Règlement des bâtisses • Proposer des formation continues pour les bureaux d'étude • Dimensionner les infrastructures • Établir un lien avec le pacte sur le climat • Mettre en place une structure de conseil au sein du ministère • Recruter des planificateurs/conseillers en questions climatiques • Mettre à disposition des subventions publiques pour les mesures d'adaptation • Promouvoir les logements de petite taille (m²/habitant), densifier les ZAE
Observations supplémentaires	
Responsabilité de mise en œuvre	Ministère de l'Intérieur, Ministère de l'Énergie et de l'Aménagement du territoire
Acteurs concernés	Administration des ponts & chaussées, communes, bureaux d'études, OAI, Ministère de l'Environnement, du Climat et du Développement durable
Indicateur de suivi des progrès réalisés dans la mise en œuvre	PAG/PAP, Règlement des bâtisses avec évaluation intégrée de l'adaptation au climat

5.7. Agriculture, y compris santé des végétaux et des animaux

5.7.1. Mesures en place

La plateforme en ligne intitulée *Invasive Alien Species in Luxembourg* (www.neobiota.lu) renseigne sur les espèces envahissantes, leur importance et leur répartition sur le territoire grand-ducal.

Plus d'informations :

<https://neobiota.lu/en/>

Impacts climatiques pertinents : espèces exotiques envahissantes

Services d'alerte et modèles de prévision dans les domaines de l'agriculture, de l'arboriculture et de la viticulture

Impacts climatiques pertinents : augmentation des organismes nuisibles indigènes, augmentation des événements météorologiques extrêmes, prolongation de la période végétative

Essais variétaux de plantes utiles autochtones

Impacts climatiques pertinents : augmentation des organismes nuisibles indigènes, augmentation des événements météorologiques extrêmes, prolongation de la période végétative

Surveiller les maladies et organismes nuisibles dans les cultures de plantes utiles indigènes

Impacts climatiques pertinents : augmentation des organismes nuisibles indigènes, espèces exotiques envahissantes

Carte de l'érosion et mesures visant à réduire le travail du sol.

Impacts climatiques pertinents : altération de la fertilité du sol, de sa structure et de sa stabilité, érosion du sol, accélération des processus de transformation dans les sols

Les assurances agricoles jouent un rôle important à la fois pour les mesures en place et pour les mesures futures. Elles sont traitées dans le paragraphe 5.13.

5.7.2. Mesures futures

Les six mesures suivantes sont définies pour le secteur 'Agriculture, y compris santé des végétaux et des animaux'. La mise en œuvre des mesures dépend de la mise à disposition de ressources financières et humaines suffisantes.

Désignation de la mesure	<i>Étendre le suivi d'espèces exotiques envahissantes et élaborer des lignes directrices pour les éradiquer et/ou des activités préventives</i>
Code mesure	L01
Impact climatique	Espèces exotiques envahissantes
Secteur	Agriculture, y compris santé des animaux et des végétaux
Type de mesure	Réglementation, recherche, sensibilisation
Objectif de la mesure	Limiter ou empêcher le plus rapidement possible la propagation des espèces exotiques envahissantes. Minimiser les dommages engendrés pour l'agriculture.
Description de la mesure	Dans le cadre de cette mesure, les étapes suivantes sont p. ex. à fixer : • Collecter des informations sur les espèces exotiques envahissantes et vérifier régulièrement leur pertinence pour le Luxembourg (https://neobiota.lu/en/), • Poursuivre le suivi ciblé des organismes nuisibles actuellement soumis à une quarantaine dans l'UE, élaborer des plans d'urgence, • Évaluer le potentiel de dommage des espèces exotiques présentes au Luxembourg, restées discrètes jusqu'ici, sous l'effet de conditions climatiques modifiées, • Élaborer des lignes directrices en vue de l'éradication des espèces exotiques envahissantes et en vue de mesures préventives, • Établir une plateforme de contrôle de la propagation de parasites et d'organismes vecteurs de maladies,

	• Cibler les mesures de lutte contre les espèces exotiques envahissantes sur leurs caractéristiques spécifiques, • Prendre des mesures ciblées contre la propagation accidentelle d'espèces exotiques, • Sensibiliser les associations sectorielles etc. à la manière de gérer les espèces exotiques envahissantes, • Etablir des plans individuels de lutte contre les parasites et des plans de vaccination (adaptés aux conditions locales de l'exploitation agricole), y compris formation continue / sensibilisation des vétérinaires responsables à l'application de médicaments, aux résistances aux parasites et à leurs répercussions, • Opter pour les espèces culturales adaptées au site et résistantes aux maladies, • Recenser les modifications d'adéquation des zones de production agricole sous l'effet du déplacement des aires d'implantation d'organismes nuisibles indigènes ou émergents, • Pousser la coopération intersectorielle (écosystèmes & biodiversité, sylviculture, santé humaine et agriculture) et la coopération entre les administrations concernées.
Observations supplémentaires	https://neobiota.lu/en/
Responsabilité de mise en œuvre	Ministère de l'Environnement, du Climat et du Développement durable, Ministère de l'Agriculture, de la Viticulture et du Développement rural, Administration de la nature et des forêts
Acteurs concernés	Instituts de recherche, représentants d'exploitations agricoles, entreprises horticoles
Indicateur de suivi des progrès réalisés dans la mise en œuvre	• Nombre d'espèces exotiques envahissantes • Stratégies de prévention et de lutte lancées

Désignation de la mesure	<i>Intensifier les activités de recherche eu égard aux événements météorologiques extrêmes et identifier les implications en résultant pour les différents secteurs agricoles</i>
Code mesure	L02
Impact climatique	Augmentation des événements météorologiques extrêmes, pluies intenses locales
Secteur	Agriculture, y compris santé des animaux et des végétaux
Type de mesure	Recherche, sensibilisation
Objectif de la mesure	Augmenter la résilience de tous les secteurs de l'agriculture en regard de l'augmentation des événements météorologiques extrêmes
Description de la mesure	Dans le cadre de cette mesure, les étapes suivantes sont p. ex. à fixer : • Promouvoir les activités de recherche dans le domaine des événements météorologiques extrêmes et soutenir les transferts et la transmission de connaissances, • Identifier les impacts des événements météorologiques extrêmes sur les différents secteurs de l'agriculture (tels que la viticulture, l'arboriculture, le maraîchage, l'exploitation herbagère, l'élevage), • Optimiser l'élevage pour faire face au changement climatique, en particulier au stress thermique (p. ex. création d'un environnement frais dans les étables, gestion adaptée des pâturages, ombrage), • Organiser et réaliser des manifestations d'information. • En raison de la diversité des sites au Luxembourg et malgré le réseau de mesure déjà très dense, il convient d'examiner la possibilité de renforcer

	le recensement de données météorologiques en répartissant (mieux) les stations météorologiques sur le territoire entier.
Observations supplémentaires	Dans le cadre de cette mesure, on recommande une approche participative pour optimiser le transfert de connaissances.
Responsabilité de mise en œuvre	Ministère de l'Agriculture, de la Viticulture et du Développement rural
Acteurs concernés	Instituts de recherche, groupements d'intérêt, représentants d'exploitations agricoles
Indicateur de suivi des progrès réalisés dans la mise en œuvre	Manifestations d'information sur le transfert de connaissances

Désignation de la mesure	<i>Établir des scénarios d'apparition d'organismes nuisibles comme base de planification de mesures de protection végétale et animale et de recherche de solutions alternatives susceptibles d'abaisser la pression de ces nuisibles ; développer de nouvelles stratégies de lutte (régulation intégrée des organismes nuisibles)</i>
Code mesure	L03
Impact climatique	Augmentation des organismes nuisibles indigènes ou envahissants
Secteur	Agriculture, y compris santé des animaux et des végétaux
Type de mesure	Recherche, réglementation, sensibilisation
Objectif de la mesure	Réduire la vulnérabilité des espèces animales et végétales aux organismes nuisibles indigènes
Description de la mesure	Dans le cadre de cette mesure, les étapes suivantes sont p. ex. à fixer : • Mieux relier et rassembler les offres et informations existantes, • Analyser les besoins et identifier les lacunes au niveau du suivi et de l'alerte précoce, • Étendre les systèmes de suivi existants afin de pouvoir recenser les impacts sur l'agriculture et l'adaptation des modes d'exploitation, • Générer des notifications et des prévisions récentes sur l'état des indicateurs pertinents (p. ex. humidité du sol, bulletin sur la propagation des organismes nuisibles), éventuellement par le biais de campagnes de mesures et de déclarations intégrant les connaissances sur le terrain, • Définir des seuils critiques ; mettre au point des systèmes régionaux différenciés de type 'feux tricolores' et formuler des recommandations actuelles de gestion, • Élaborer des aides à la prise rapide de décisions (p. ex. liste de contrôle en cas de sécheresse), • Élaborer des aides à la décision pour la prise de mesures de lutte contre les organismes nuisibles dans le contexte des impacts sur les écosystèmes concernés, • Pousser la coopération transnationale et échanger des informations à un stade précoce, • Participer à des initiatives de recherche internationales axées sur les organismes nuisibles envahissants et les maladies, • Dans le cadre des importations, améliorer la surveillance des organismes nuisibles soumis à quarantaine. Examiner la possibilité de restreindre le commerce en raison de maladies survenant dans le pays exportateur et impactant le commerce international.
Observations supplémentaires	

Responsabilité de mise en œuvre	Ministère de l'Agriculture, de la Viticulture et du Développement rural, Administration de la nature et des forêts
Acteurs concernés	Instituts de recherche, groupements d'intérêt, représentants d'exploitations agricoles
Indicateur de suivi des progrès réalisés dans la mise en œuvre	• Développement de scénarios pour certains organismes • Développement de stratégies de lutte contre des organismes et maladies sélectionnés

Désignation de la mesure	<i>Tester des options pour étendre l'assolement et/ou le choix des variétés eu égard à la prolongation de la période de végétation</i>
Code mesure	L04
Impact climatique	Prolongation de la période végétative
Secteur	Agriculture, y compris santé des animaux et des végétaux
Type de mesure	Recherche, sensibilisation
Objectif de la mesure	Augmenter les rendements agricoles et profiter à un stade précoce des opportunités climatiques
Description de la mesure	Dans le cadre de cette mesure, les étapes suivantes sont p. ex. à fixer : • Renforcer la prise en compte d'aspects du changement climatique dans la sélection végétale et/ou dans le choix des espèces végétales qui feront l'objet d'un travail de sélection et dans la définition des objectifs de sélection, • Identifier parmi les plantes utiles à l'arboriculture, au maraîchage, à l'agriculture, à la viticulture et aux cultures fourragères celles qui sont mieux adaptées aux conditions futures (températures plus élevées, canicule, rareté de l'eau), • Vérifier et, si nécessaire, adapter les conditions cadres pour la sélection et l'utilisation (examen/autorisation) de variétés robustes adaptées, • Mettre à disposition des informations sur les variétés et races adaptées, • Tester des options pour étendre l'assolement eu égard à la prolongation de la période de végétation • Dans le cas de périodes végétatives prolongées et d'épisodes de canicule plus fréquents, prendre en considération des systèmes d'irrigation durable, notamment en arboriculture et maraîchage, • Examiner si la culture d'espèces indigènes et exotiques est adaptée aux événements météorologiques extrêmes, • Prendre en considération les aptitudes fourragères (digestibilité, goût, valeur nutritive et énergétique, structure, capacité de conservation) dans le cadre de l'utilisation de nouveaux fourrages alternatifs, • Prendre en compte les créneaux de commercialisation sur le marché local quand il est fait appel à de nouvelles espèces mieux adaptées.
Observations supplémentaires	3rd Industrial Revolution Strategy
Responsabilité de mise en œuvre	Ministère de l'Agriculture, de la Viticulture et du Développement rural
Acteurs concernés	Administration des services techniques de l'agriculture, chambre d'agriculture, instituts de recherche, organisations de conseil, groupements d'intérêts, représentants d'exploitations agricoles
Indicateur de suivi des progrès réalisés dans la mise en œuvre	Régions d'essai mises en place

Désignation de la mesure	<i>Encourager les mesures de protection du sol</i>
Code mesure	L05

Impact climatique	Érosion du sol accrue, altération de la structure et de la stabilité du sol
Secteur	Agriculture, y compris santé des animaux et des végétaux
Type de mesure	Réglementation, sensibilisation, recherche
Objectif de la mesure	Préserver et protéger les ressources pédologiques dans le contexte des modifications climatiques
Description de la mesure	Dans le cadre de cette mesure, les étapes suivantes sont p. ex. à fixer : • Mettre en œuvre des solutions techniques pour réduire le compactage et l'endommagement des sols, p. ex. : adapter la conduite d'engins afin de mieux répartir la pression superficielle spécifique et la masse totale des engins et appareils, utiliser des pneus larges basse pression à surface de contact importante, utiliser des machines plus légères à charge utile plus faible, réduire les passages des machines agricoles et adapter les périodes de ces passages à l'état des sols, adopter les techniques de l'agriculture de précision (« precision farming »), • Favoriser des mesures de protection des sols par une sélection sensible des variétés et espèces végétales en regard du changement climatique et par une adaptation de l'assolement, des dates de semis, de la fertilisation et des méthodes de travail du sol, • Mettre en place un système de surveillance de l'érosion, • Planter des cultures dérobées afin de protéger la structure et la stabilité du sol, • Étudier les possibilités et les limites des mesures visant à améliorer l'infiltration et la capacité de rétention, à prévenir l'érosion, à favoriser la formation d'humus et à éviter le compactage (entre autres plantes aux racines profondes pour accéder à l'eau et ameublir le sol, sous-semis/couverture végétale nécessitant peu d'eau), • Concevoir et tester, à titre expérimental, des systèmes de gestion intégrée qui combinent assolement, choix des variétés, travail du sol et autres mesures visant à assurer une utilisation de l'eau plus efficace dans les cultures.
Observations supplémentaires	Encourager les mesures de protection du sol à travers les mesures agro-environnementales
Responsabilité de mise en œuvre	Ministère de l'Agriculture, de la Viticulture et du Développement rural, Ministère de l'Environnement, du Climat et du Développement durable
Acteurs concernés	Instituts de recherche, groupements d'intérêt, représentants d'exploitations agricoles, organisations de conseil
Indicateur de suivi des progrès réalisés dans la mise en œuvre	• Risque réel d'érosion du sol (t/ha*a) • Pourcentage des surfaces à risque d'érosion faisant l'objet de mesures de protection contre l'érosion (%)

Désignation de la mesure	<i>Adopter des modes d'élevage et de production animale résilients au climat</i>
Code mesure	L06
Impact climatique	Espèces exotiques envahissantes, augmentation des organismes nuisibles indigènes, augmentation de la pression thermique
Secteur	Agriculture, y compris santé des végétaux et des animaux
Type de mesure	Infrastructures, sensibilisation
Objectif de la mesure	Élevage sain par températures plus chaudes
Description de la mesure	Dans le cadre de cette mesure, les étapes suivantes sont p. ex. à fixer : • Créer des zones d'ombrage naturelles ou non naturelles appropriées, • Assurer l'approvisionnement en eau de breuvage et la qualité de cette eau, installer des brosses à bétail dans les pâturages, • Aménager des chemins de pacage, clôturer les cours d'eau et les endroits humides (le cas échéant, mise à sec)

	• Prendre des mesures dans le cadre de la construction d'étables (ventilation des étables, système de gicleurs, régulation de la température ambiante, de l'humidité de l'air et des gaz nuisibles, équipement de bien-être animal), • Construire des étables alternatives (combiner l'horticulture et l'élevage) afin de réguler le climat, • Pratiquer le compostage des effluents d'élevage et autres formes d'élevage alternatives, • Utiliser des outils de « Precision livestock farming » pour surveiller l'état de santé et de bien-être des animaux (système d'alerte précoce), • Participer à des études européennes et internationales relatives à l'impact du changement climatique sur la santé et la performance animales (en caractérisant par exemple les effets génétique/environnement) et en déduire des stratégies d'élevage et de production appropriées, • Recenser de nouvelles caractéristiques animales (alternatives) (« fine phenotyping », genomics) telles que la tolérance à la chaleur, les résistances aux maladies, mobilité/activité, souplesse des performances (p. ex. croissance compensatrice, production de lait), • Surveiller et détecter à un stade précoce de nouvelles maladies « exotiques » (telles que la fièvre catarrhale ovine, la dermatose nodulaire contagieuse [Lumpy skin disease] et la peste porcine africaine) ; élaborer des stratégies de lutte et d'éradication.
Observations supplémentaires	http://www.landwirtschaftskammern.de/pdf/klima-tier.pdf
Responsabilité de mise en œuvre	Ministère de l'Agriculture, de la Viticulture et du Développement rural
Acteurs concernés	Instituts de recherche, groupements d'intérêt, représentants d'exploitations agricoles, organisations de conseil, organisations d'élevage
Indicateur de suivi des progrès réalisés dans la mise en œuvre	Nombre d'entreprises mettant en œuvre des mesures ciblées

5.8. Santé humaine :

5.8.1. Mesures en place

Le système d'alerte météorologique géré par *MeteoLux* propose sous forme structurée des informations sur le comportement à adopter dans les situations météorologiques suivantes :

- Rafales de vent, tempêtes
- Averses, pluies intenses
- Neige, pluie verglaçante
- Orages
- Vagues de chaleur et de froid

Plus d'informations :

<http://MeteoLux.lu/fr/vigilances/dangers-meteorologiques/>

Impacts climatiques pertinents : augmentation du stress thermique, augmentation du risque d'exposition de la population aux événements météorologiques extrêmes

L'étude stratégique « *Anpassung an den Klimawandel – Strategien für die Raumplanung* » (Ministère du Développement durable et des Infrastructures, 2012) recommande les mesures suivantes pour le secteur 'Santé humaine' :

- Préserver des surfaces de génération d'air froid et d'air frais suffisamment importantes ainsi que des couloirs de ventilation connectés au milieu urbain et optimiser leur efficacité,
- Augmenter l'albédo afin de réduire l'absorption du rayonnement et le réchauffement des surfaces,
 - Désimperméabiliser les surfaces privées et publiques et augmenter le volume vert
 - Ombrager les espaces libres
 - Mettre en place des surfaces d'eaux vives

Plus d'informations :

http://www.dat.public.lu/publications/documents/C-Change/CChange_conclusions.pdf

Impacts climatiques pertinents : augmentation du stress thermique, augmentation du risque d'exposition de la population aux événements météorologiques extrêmes, augmentation de la pollution par les substances nuisibles telles que l'ozone et les poussières fines

La plateforme en ligne intitulée *Invasive Alien Species in Luxembourg* (www.neobiota.lu) renseigne sur les espèces envahissantes, leur importance et leur répartition sur le territoire grand-ducal.

Plus d'informations :

<https://neobiota.lu/en/>

Impacts climatiques pertinents : espèces exotiques envahissantes

Dans le cadre d'un avis émis en 2011 sur les impacts du changement climatique sur la santé publique, l'*Inspection Sanitaire du Luxembourg* a regroupé entre autres les points suivants :

- Impacts de l'augmentation des précipitations
- Impacts directs et indirects d'une augmentation de la température

- Impacts du changement climatique sur les peuplements d'insectes et par conséquent sur la santé
- Apparition de zoonoses et stratégies pour les combattre

Impacts climatiques pertinents : augmentation du nombre d'organismes allergènes, augmentation du stress thermique, favorisation d'agents pathogènes indigènes, survenance d'agents pathogènes nouveaux, augmentation du risque d'exposition de la population aux événements extrêmes

L'appli « Meng Loft » informe l'utilisateur en temps réel, à partir de sa position géographique, sur la qualité de l'air au Luxembourg.

Plus d'informations :

<http://luxembourg.public.lu/de/actualites/2018/05/15-mengloft/index.html>

Impacts climatiques pertinents : augmentation de la pollution par les substances nuisibles (ozone, poussières fines)

C'est notamment dans le but d'informer et d'appuyer les citoyens plus âgés avant une phase de grande chaleur que le « Plan national canicule » a été mis en place.

Plus d'informations :

<http://sante.public.lu/fr/prevention/canicule/plan-canicule/index.html>

Impacts climatiques pertinents : hausse du stress thermique

5.8.2. Mesures futures

Les quatre mesures suivantes sont définies pour le secteur 'Santé humaine'. La mise en œuvre des mesures dépend de la mise à disposition de ressources financières et humaines suffisantes.

Désignation de la mesure	<i>Mettre en place un suivi et un système d'avertissement pour l'eau potable et élaborer un catalogue de mesures de protection de l'eau potable contre les impacts du changement climatique</i>
Code mesure	MG01
Impact climatique	Qualité de l'eau potable menacée
Secteur	Santé humaine
Type de mesure	Réglementation, politique des finances, sensibilisation, infrastructures
Objectif de la mesure	Minimiser le risque d'infection, préserver la qualité de l'eau
Description de la mesure	Telles qu'annoncées par les projections, les modifications de la température et du régime des précipitations influent sur la température des eaux souterraines, sur les conduites et canalisations ainsi que sur la recharge de la nappe phréatique. Des altérations de la qualité bactériologique de l'eau potable peuvent en résulter.

	Des températures moyennes plus élevées accélèrent la désagrégation des sols ce qui accroît les apports de particules organiques. Elles intensifient par ailleurs les activités biologiques et améliorent ainsi les conditions de prolifération des bactéries et des germes. Dans le cadre de cette mesure, les étapes suivantes sont p. ex. à fixer : • Désigner à titre préventif des zones de protection d'eau potable (mesure en cours, sachant qu'il conviendra d'examiner dans quelle mesure le changement climatique est pris en compte), • Par temps critique, renforcer les contrôles du respect des valeurs microbiologiques fixées par le règlement relatif à l'eau potable, • Définir les canaux d'information et les compétences pour le cas d'une altération de l'eau potable ; dans un avenir proche, sensibiliser le public à une éventuelle baisse de la qualité, • Le cas échéant, alerter le public suffisamment tôt d'une éventuelle altération de la qualité de l'eau potable, • Proposer éventuellement des analyses bactériologiques individuelles, par exemple à l'adresse des hôpitaux, • Élaborer des plans régionaux et intégrés d'approvisionnement en eau potable comprenant une assurance qualité à long terme (p. ex. désinfection), • Assurer des possibilités d'infiltration locale.
Observations supplémentaires	
Responsabilité de mise en œuvre	Ministère de l'Environnement, du Climat et du Développement durable, Administration de la gestion de l'eau
Acteurs concernés	Administration de la santé, représentants de la gestion des eaux (communes)
Indicateur de suivi des progrès réalisés dans la mise en œuvre	État des masses d'eau souterraine selon les dispositions de la DCE

Désignation de la mesure	<i>Limitier l'exposition de la population aux substances allergènes / aux pollens allergisants</i>
Code mesure	MG02
Impact climatique	Augmentation des organismes allergènes
Secteur	Santé humaine
Type de mesure	Réglementation, sensibilisation, infrastructures, recherche, coopération internationale
Objectif de la mesure	Minimiser les allergies et atténuer les risques sanitaires y associés
Description de la mesure	Les températures de l'air élevées, la teneur en CO₂ plus importante ainsi que l'augmentation du stress auquel est exposée la végétation sous l'effet des périodes de sécheresse intensifient et prolongent la saison des pollens. Le changement climatique favorise le développement d'allergènes biologiques (de contact) envahissants tels que l'Ambroisie et le Processionnaire du chêne. Le nombre de sensibilisations augmente également en raison d'une exposition accrue aux allergènes. Dans le cadre de cette mesure, les étapes suivantes sont p. ex. à fixer : • Alertes aux pollens : effectuer un suivi étroit des concentrations de pollens dans l'air et émettre, sur cette base, des prévisions de la charge pollinique attendue, • Définir les canaux d'information et les compétences,

	• Sensibiliser et informer le public, par exemple par le biais d'une brochure intitulée « Comment réagir à une charge pollinique élevée ? », • Assurer l'accès à des soins de santé qualifiés par la formation des médecins et du personnel du secteur de la santé, • Dans le cadre de la plantation d'espaces verts publics, tenir compte des connaissances sur les plantes allergisantes, • Mettre en œuvre une stratégie nationale de lutte contre les allergènes envahissants (tels que l'Ambroisie), en coopération avec les pays voisins, • Étudier les mesures de maîtrise des allergènes, • Mener des recherches connexes : Comparer les taux de sensibilisation en relation avec les données sur l'exposition aux pollens et d'autres données associées au climat.
Observations supplémentaires	https://neobiota.lu/en/ https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/377/publikationen/umid_01_2014_gesamt_0.pdf
Responsabilité de mise en œuvre	Ministère de la Santé
Acteurs concernés	Service des espaces verts, service météorologique, autorités sanitaires
Indicateur de suivi des progrès réalisés dans la mise en œuvre	• État des lieux de la propagation des néophytes • Suivi des pollens

Désignation de la mesure	<i>Gérer les ondes de chaleur prolongées dans les services de santé, de soins et des affaires sociales</i>
Code mesure	MG03
Impact climatique	Augmentation du stress thermique
Secteur	Santé humaine
Type de mesure	Sensibilisation, infrastructures, recherche
Objectif de la mesure	Cette mesure vise à inciter les groupes à risque à adapter leur comportement, à leur offrir un environnement préservé, à suivre l'état de leur santé et à assurer les soins médicaux d'urgence même à grande échelle.
Description de la mesure	Dans le cadre de cette mesure, les étapes suivantes sont p. ex. à fixer : • Prévoir au jour près les personnes à soigner, et ce sur la base du degré de stress thermique, en tenant compte de la température ressentie, de la phase de temps antérieure sans stress thermique et de la durée d'exposition, • Définir les groupes cibles à avertir (autre le secteur de la santé et des soins et le secteur social), • Définir la modularité et le degré de détail des alertes en fonction du groupe cible, • Définir les canaux d'information et les compétences, • Former le personnel du secteur de la santé sur l'interprétation des prévisions et sur les méthodes de traitement médical, • Sensibiliser et informer (prévention), • Mettre en œuvre des solutions techniques de réduction du stress thermique, • Mettre à disposition des informations sur les médicaments abaissant l'adaptation de l'organisme à la chaleur.
Observations supplémentaires	http://www.guichet.public.lu/citoyens/de/actualites/2016/08/23-alerte-canicule/index.html http://www.sante.public.lu/fr/prevention/canicule/plan-canicule/index.html

	http://www.guichet.public.lu/citoyens/de/sante-social/services-domiciles/canicule/inscription-plan-canicule/index.html http://www.sante.public.lu/fr/espace-professionnel/recommandations/direction-sante/canicule/index.html http://www.sante.public.lu/fr/publications/s/soleil-ami-ennemi-adolescent-2008/index.html http://climate-adapt.eea.europa.eu/metadata/case-studies/stuttgart-combating-the-heat-island-effect-and-poor-air-quality-with-green-ventilation-corridors/#cost_benefit_anchor
Responsabilité de mise en œuvre	Ministère de la Santé
Acteurs concernés	Services de secours, centres de soins, hôpitaux, service météorologique
Indicateur de suivi des progrès réalisés dans la mise en œuvre	Surmortalité due à la température

Désignation de la mesure	<i>Prévoir et gérer la pollution accrue par l'ozone et par les poussières fines</i>
Code mesure	MG04
Impact climatique	Augmentation des pressions des substances nuisibles (ozone, poussières fines)
Secteur	Santé humaine
Type de mesure	Réglementation, politique des finances, sensibilisation
Objectif de la mesure	Améliorer l'hygiène de l'air dans des conditions météorologiques critiques
Description de la mesure	Le facteur limitant la réaction photochimique de la formation d'ozone, à savoir le rayonnement solaire, ne variera guère sous l'effet du changement climatique. A partir des projections sur la modification de la répartition intra-annuelle des précipitations, on peut éventuellement déduire que le rayonnement solaire augmentera en été. Il en va de même pour la concentration en poussières fines. Ces dernières seront moins lessivées en raison de la diminution des précipitations estivales. Tout comme le stress thermique, l'ozone et les poussières fines affectent les voies respiratoires et le système cardiovasculaire. Si ce stress thermique accru se produit simultanément, les effets des pressions polluantes sur la santé humaine en seront encore amplifiés (Mücke, 2008, 2014). Dans le cadre de cette mesure, les étapes suivantes sont p. ex. à fixer : • Mettre en place un service d'alerte basé sur les prévisions de la pluie, de la direction du vent, de l'intensité de l'inversion ainsi que de la turbulence, • Définir les canaux d'information et les compétences, • Définir des mesures de réduction des précurseurs des poussières fines et de l'ozone, • Établir un cadre réglementaire permettant de mettre en œuvre ces mesures de réduction des émissions.
Observations supplémentaires	http://www.klima-warnsignale.uni-hamburg.de/wp-content/uploads/2014/06/muecke.pdf
Responsabilité de mise en œuvre	Ministère de l'Environnement, du Climat et du Développement durable, Administration de l'environnement
Acteurs concernés	Service météorologique
Indicateur de suivi des progrès réalisés dans la mise en œuvre	Mesures des poussières fines et de l'ozone

5.9. Ecosystèmes et biodiversité

5.9.1. Mesures en place

Sont listées dans le *Plan national pour la protection de la nature 2017 - 2021* (Ministère de l'Environnement, 2017) les mesures suivantes de protection des écosystèmes et de la biodiversité qui sont pertinentes pour l'adaptation au changement climatique :

- Protection prioritaire d'éléments écologiques essentiels par la gestion ciblée d'infrastructures vertes ou de sites clés,
- Réduction des pressions humaines sur les écosystèmes entravant leurs capacités d'adaptation au changement climatique,
- Préservation et restauration d'une mosaïque paysagère régionale, riche et équilibrée en diversité d'espèces et habitats, en vue de la réduction des risques liés à des événements d'extinction locale (ici, les mesures agro-environnementales et les programmes de biodiversité peuvent revêtir un rôle important),
- Restauration des capacités de résilience des habitats et écosystèmes,
- Préservation prioritaire de refuges climatiques,
- Renforcement de la fonctionnalité des corridors écologiques,
- Projets agro-forestiers comme mesures « no regret ».

Plus

d'informations :

https://environnement.public.lu/fr/natur/biodiversite/mesure_2_pnnp.html

Impacts

climatiques pertinents : habitats humides menacés, modification de la phénologie / du comportement de reproduction, modification de la composition des espèces, déplacement des habitats, espèces exotiques envahissantes

La plateforme en ligne intitulée *Invasive Alien Species in Luxembourg* (www.neobiota.lu) renseigne sur les espèces envahissantes, leur importance et leur répartition sur le territoire grand-ducal.

Plus d'informations :

<https://neobiota.lu/en/>

Impacts climatiques pertinents : espèces exotiques envahissantes

5.9.2. Mesures futures

Les quatre mesures suivantes sont définies pour le secteur 'Écosystèmes et biodiversité'. La mise en œuvre des mesures dépend de la mise à disposition de ressources financières et humaines suffisantes. D'une manière générale, les « nature based solutions » sont à privilégier.

Désignation de la mesure	<i>Prendre des mesures ciblées de soutien aux espèces menacées, notamment sur les surfaces pouvant s'avérer climatiquement appropriées</i>
Code mesure	ÖB01
Impact climatique	Modification de la composition des espèces, modification de la phénologie / du comportement de reproduction, habitats humides menacés
Secteur	Écosystèmes et biodiversité
Type de mesure	Réglementation, recherche, sensibilisation
Objectif de la mesure	Lancer des mesures destinées aux (sous-)populations, espèces et habitats particulièrement touchés par les répercussions du changement climatique pour assurer leur préservation.
Description de la mesure	Dans le cadre de cette mesure, les étapes suivantes sont p. ex. à fixer : • Élaborer des critères d'évaluation en vue d'identifier les (sous-) populations, espèces et habitats les plus perturbés par les répercussions du changement climatique, • A l'échelle des espèces : prendre également en compte la diversité génétique ; dans le cas des habitats, porter une attention particulière aux zones Natura 2000 et aux autres réserves naturelles, • Examiner si les espèces et types d'habitats sensibles au climat doivent être mieux protégés des effets du changement climatique (tailles et surfaces minimales des zones protégées) et, dans l'affirmative, déterminer les adaptations nécessaires au niveau de la réglementation et des plans de gestion, • Lancer des mesures ciblées de soutien aux (sous-)populations, espèces et habitats insuffisamment protégées (sachant que les corridors biologiques revêtent un rôle essentiel pour les déplacements migratoires), • Ajuster à l'échelle nationale les mesures nécessaires de préservation et de soutien avec d'autres secteurs, • Vérifier régulièrement si de nouvelles zones protégées doivent être désignées.
Observations supplémentaires	https://gouvernement.lu/dam-assets/fr/actualites/articles/2012/04-avril/16-pac/etude.pdf https://environnement.public.lu/dam-assets/documents/natur/general/pnnp2.pdf
Responsabilité de mise en œuvre	Ministère de l'Environnement, du Climat et du Développement durable, Administration de la nature et des forêts
Acteurs concernés	Organisations de protection de la nature, instituts de recherche
Indicateur de suivi des progrès réalisés dans la mise en œuvre	• Modifications phénologiques des espèces végétales sauvages • Indice de température de la communauté des espèces aviaires • Prise en considération du changement climatique dans les stratégies de protection de la nature et les plans de gestion

Désignation de la mesure	<i>Prendre en considération le changement climatique dans les stratégies de protection de la nature et les plans de gestion</i>
Code mesure	ÖB02
Impact climatique	Modification de la phénologie / du comportement de reproduction, modification de la composition des espèces, habitats humides menacés
Secteur	Écosystèmes et biodiversité
Type de mesure	Réglementation, recherche
Objectif de la mesure	Appuyer le potentiel d'adaptation des espèces animales et végétales en renforçant et en préservant la fonctionnalité des écosystèmes
Description de la mesure	Dans le cadre de cette mesure, les étapes suivantes sont p. ex. à fixer :

	• Évaluer la fonctionnalité des stratégies de protection de la nature et des plans de gestion existants dans le contexte du changement climatique, • Réviser les projets de protection et les plans de gestion (considérer les zones protégées à une échelle géographique dépassant leurs délimitations, afin d'identifier des réseaux de biotopes), • Créer des surfaces de corridors ou des structures de guidage telles que les haies ou les passerelles écologiques, • Réduire, au moyen de mesures techniques, l'effet de barrière des axes de circulation ou des aménagements rigides des rivières, • Promouvoir la coopération internationale dans la mise en place de réseaux de biotopes.
Observations supplémentaires	https://environnement.public.lu/fr/natur/biodiversite/mesure_2_pnpn.html
Responsabilité de mise en œuvre	Ministère de l'Environnement, du Climat et du Développement durable, Administration de la nature et des forêts
Acteurs concernés	Organisations de protection de la nature
Indicateur de suivi des progrès réalisés dans la mise en œuvre	• Modifications phénologiques des espèces végétales sauvages • Indice de température de la communauté des espèces aviaires • Prise en considération du changement climatique dans les stratégies de protection de la nature et les plans de gestion

Désignation de la mesure	<i>Assurer le suivi, le contrôle et l'éradication d'espèces exotiques envahissantes</i>
Code mesure	ÖB03
Impact climatique	Espèces exotiques envahissantes
Secteur	Écosystèmes et biodiversité
Type de mesure	Recherche, réglementation, sensibilisation
Objectif de la mesure	Identifier à un stade précoce les espèces exotiques envahissantes à fort potentiel nuisible et lancer des mesures de prévention et de lutte contre leur propagation incontrôlée
Description de la mesure	Dans le cadre de cette mesure, les étapes suivantes sont p. ex. à fixer : • Collecter des informations relatives aux espèces allochtones envahissantes et vérifier régulièrement leur pertinence pour le Luxembourg (https://neobiota.lu/en/), • Évaluer le potentiel nuisible, dans des conditions climatiques modifiées, des espèces exotiques présentes au Luxembourg et restées discrètes jusqu'à présent, • Ajuster les mesures de lutte contre les espèces exotiques envahissantes à leurs caractéristiques spécifiques, • Prendre des mesures ciblées contre la propagation accidentelle d'espèces exotiques, • Sensibiliser les fédérations professionnelles etc. à la manière de gérer les espèces exotiques envahissantes, • Renforcer la coopération intersectorielle (agriculture, sylviculture, secteur de la santé humaine), • La lutte contre les organismes nuisibles à l'agriculture et à la sylviculture peut impacter les écosystèmes ; une coopération étroite avec ces secteurs et les autorités compétentes est nécessaire.
Observations supplémentaires	https://neobiota.lu/en/ https://environnement.public.lu/fr/natur/biodiversite/mesure_2_pnpn.html
Responsabilité de mise en œuvre	Ministère de l'Environnement, du Climat et du Développement durable, Administration de la nature et des forêts, Administration de la gestion de l'eau

Acteurs concernés	Représentants du monde agricole, du monde sylvicole et de branches particulières (exploitations horticoles),
Indicateur de suivi des progrès réalisés dans la mise en œuvre	Présence d'espèces envahissantes sélectionnées, à fort potentiel nuisible pour des écosystèmes donnés

5.10. Tourisme

5.10.1. Mesures en place

Aucun document pertinent pour l'adaptation n'a été transmis pour le secteur 'Tourisme'.

5.10.2. Mesures futures

La mesure suivante est définie pour le secteur 'Tourisme'. La mise en œuvre des mesures dépend de la mise à disposition de ressources financières et humaines suffisantes.

Désignation de la mesure	<i>Informar les touristes des événements météorologiques extrêmes</i>
Code mesure	T01
Impact climatique	Augmentation des événements météorologiques extrêmes
Secteur	Tourisme
Type de mesure	Sensibilisation
Objectif de la mesure	Mieux informer les touristes en cas de menace d'événements météorologiques extrêmes
Description de la mesure	En raison de leurs connaissances potentiellement insuffisantes des lieux et de la langue, les touristes – en particulier les touristes individuels – ont besoin d'avertissements plus individuels en situation de crise. En même temps, leurs activités de loisirs les exposent souvent plus fortement à de telles situations (p. ex. qualité de l'eau, manque d'eau, inondation de terrains de camping en basse altitude, déracinement par le vent, présence accrue d'allergènes, perturbation du trafic entrant et sortant). Dans le cadre de cette mesure, les étapes suivantes sont p. ex. à fixer : • Classer les touristes en fonction de leur accessibilité (touristes hébergés, touristes à la journée, accessibilité par téléphone portable, etc.), • Désigner les personnes responsables de la communication (hôteliers, gestionnaires de terrains de camping, guides touristiques, etc.), • Définir les avertissements et informations à communiquer en fonction du classement, • Désigner les services d'avertissement, • Assurer les flux d'informations du service d'avertissement depuis le responsable de la communication jusqu'aux touristes.
Observations supplémentaires	https://um.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-um/intern/Dateien/Dokumente/4_Klima/Klimawandel/Anpassungsstrategie.pdf
Responsabilité de mise en œuvre	Ministère de l'Economie, communes
Acteurs concernés	Entreprises de tourisme et leurs groupements d'intérêts, associations de tourisme, Ministère de l'Environnement, du Climat et du Développement durable, service météorologique, services de secours

Indicateur de suivi des progrès réalisés dans la mise en œuvre	Nombre des processus de communication établis dans les destinations touristiques
---	--

5.11. Espaces urbains

5.11.1. Mesures en place

L'étude stratégique « *Anpassung an den Klimawandel – Strategien für die Raumplanung* » (Ministère du Développement durable et des Infrastructures, 2012) recommande les mesures suivantes pour le secteur 'Espaces urbains' :

- Préserver des surfaces de génération d'air froid et d'air frais suffisamment importantes ainsi que des couloirs de ventilation connectés au milieu urbain,
- Optimiser l'efficacité de surfaces de génération d'air froid et d'air frais ainsi que de couloirs de ventilation,
- Augmenter l'albédo afin de réduire l'absorption du rayonnement et le réchauffement des surfaces,
- Désimperméabiliser les surfaces privées et publiques et augmenter le volume vert afin d'accroître l'évaporation et l'évapotranspiration,
- Ombrager les espaces libres,
- Mettre en place des surfaces d'eaux vives afin de faire profiter les espaces urbains bâtis de l'effet rafraîchissant de l'évaporation.

Plus d'informations :

http://www.dat.public.lu/publications/documents/C-Change/CChange_conclusions.pdf

Impacts climatiques pertinents : apparition plus fréquente d'ondes de chaleur

5.11.2. Mesures futures

Les deux mesures suivantes sont définies pour le secteur 'Espaces urbains'. La mise en œuvre des mesures dépend de la mise à disposition de ressources financières et humaines suffisantes.

Désignation de la mesure	<i>Élaborer un plan global intégré d'aménagement urbain pour des mesures d'urbanisme visant à réduire les ondes de chaleur</i>
Code mesure	UR01
Impact climatique	Apparition plus fréquente d'ondes de chaleur
Secteur	Espaces urbains
Type de mesure	Réglementation, infrastructures, planification
Objectif de la mesure	Limiter les atteintes à la santé notamment des groupes à risque
Description de la mesure	Dans le cadre de cette mesure, les étapes suivantes sont p.ex. à fixer : • En milieu urbain, le bilan thermique doit être diminué en augmentant l'ombrage, l'aération, l'évaporation et l'albédo.

	• Végétaliser les toitures et façades, • Utiliser des surfaces claires et réfléchissantes pour les toitures, routes et parkings, • Utiliser les rues en tant que couloirs de ventilation (ventilation nocturne pour les quartiers ou villes en cuvette ou dans la direction dominante du vent), • Créer des parcs répartis sur le territoire, accessibles aux personnes à mobilité réduite, notamment les personnes âgées et les enfants, fonctionnels (arbres à effet ombrageant et à forte évaporation, irrigation assurée) et attrayants (p. ex. équipements de jeux, cafés). On peut éventuellement songer à des usages doubles, p. ex. en tant que surfaces de rétention. • Il convient par ailleurs de veiller à limiter les rejets thermiques des groupes frigorifiques dans le sol urbain pour éviter la formation d'un îlot de chaleur favorisant la prolifération des germes dans les eaux souterraines.
Observations supplémentaires	https://www.epa.gov/sites/production/files/2014-06/documents/basicscompendium.pdf http://coolroofs.org/ http://www.guichet.public.lu/citoyens/de/actualites/2016/08/23-alerte-canicule/index.html 3rd Industrial Revolution Strategy http://www.dat.public.lu/publications/documents/C-Change/CChange_conclusions.pdf
Responsabilité de mise en œuvre	Ministère de l'Intérieur, Ministère de l'Énergie et de l'Aménagement du territoire, Ministère du Logement
Acteurs concernés	Participation des services responsables des espaces verts, de la supervision des travaux de construction, des transports, de la gestion de l'eau et de l'urbanisme
Indicateur de suivi des progrès réalisés dans la mise en œuvre	• Différence de température entre la ville et la périphérie • Nombre de nuits tropicales
Désignation de la mesure	<i>Vérifier les infrastructures urbaines eu égard à l'augmentation des événements météorologiques extrêmes et élaborer des plans d'adaptation des constructions</i>
Code mesure	UR02
Impact climatique	Augmentation des événements météorologiques extrêmes
Secteur	Espaces urbains
Type de mesure	Politique des finances, sensibilisation, infrastructures
Objectif de la mesure	Préserver les infrastructures urbaines et assurer leur fonctionnement, approvisionner la population
Description de la mesure	Dans le cadre de cette mesure, les étapes suivantes sont p.ex. à fixer : • Identifier les infrastructures menacées par les épisodes pluvieux intenses, de sécheresse et de chaleur. Une attention particulière doit être accordée : ○ au trafic (passages souterrains, parkings souterrains, voies ferrées, revêtements d'asphalte), ○ aux télécommunications (boîtiers de distribution), ○ à l'approvisionnement en eau et à l'évacuation des eaux usées (dimensionnement, rétention). • Définir et contrôler les niveaux de fonctionnement restreints/d'endommagement tolérables pour les infrastructures/bâtiments susceptibles d'être touchés,

	- La première règle à observer dans l'élaboration de différentes mesures de construction est de veiller à ce qu'elles soient facilement ajustables ultérieurement. Les interactions avec différents usages et avec d'autres mesures doivent être étudiées. Une option consiste à éviter ou à différer les investissements en établissant des plans d'urgence ou en garantissant l'efficacité des mesures déjà en place (p. ex. moyennant des contrôles ou exercices renforcés) (« low regret »). On citera à titre d'exemple les mesures suivantes : - Créer et désigner des surfaces de rétention, - Réduire l'imperméabilisation des sols en augmentant le taux d'enherbement et en utilisant des revêtements routiers perméables, - Inspecter régulièrement les égouts en été pour identifier les dépôts, - Utiliser des tuyaux d'égouts ovoïdes, à meilleur effet de rinçage même en période de sécheresse quand les quantités d'eaux usées sont faibles.
Observations supplémentaires	http://www.dat.public.lu/publications/documents/C-Change/CChange_conclusions.pdf 3rd Industrial Revolution Strategy
Responsabilité de mise en œuvre	Ministère de l'Intérieur, Ministère de l'Énergie et de l'Aménagement du territoire
Acteurs concernés	Services de secours, urbanisme, transport, supervision de travaux de construction, gestion de l'eau
Indicateur de suivi des progrès réalisés dans la mise en œuvre	- Niveaux de crue - Nombre d'interventions

5.12. Régime hydrologique et gestion de l'eau

5.12.1. Mesures en place

L'étude stratégique « *Anpassung an den Klimawandel – Strategien für die Raumplanung* » (Ministère du Développement durable et des Infrastructures, 2012) recommande les mesures suivantes pour le secteur 'Régime hydrologique et gestion de l'eau' :

- Éviter les difficultés d'approvisionnement en utilisant des infrastructures appropriées ainsi qu'en réduisant la consommation d'eau par un comportement économe et des technologies efficaces,
- Recharger la nappe phréatique en assurant l'infiltration décentralisée des eaux de précipitation et par la mise à disposition d'eau à partir de réseaux interconnectés,
- Assurer une bonne qualité de l'eau en protégeant les sources, les eaux de surface et les ressources en eau souterraine contre la pollution,
- Supprimer les antennes de réseau (sans circulation d'eau), purger les conduites plus fréquemment et abaisser les canalisations (exemples de mesures visant à éviter des problèmes d'hygiène),
- Optimiser l'efficacité des réseaux de canalisation en situation d'étiage en utilisant – pour les nouvelles constructions – des conduites à profil hydrauliquement plus

efficace, en effectuant plus fréquemment des entretiens et en réparant les fuites d'eau dans les réseaux,

- Mener des campagnes d'information sur l'économie d'eau,
- En période de rareté de la ressource en eau, avoir recours à des instruments réglementaires et économiques tels que les interdictions (par exemple de l'arrosage des jardins) ou la régulation saisonnière de la consommation d'eau via le prix,
- Limiter l'imperméabilisation,
- Supprimer les obstacles à l'écoulement (p. ex. les piles de ponts) dans les secteurs exposés au risque d'inondation,
- Mettre en place des obstacles à l'écoulement dans les secteurs peu exposés au risque d'inondation,
- Préserver et regagner des surfaces inondables naturelles en reculant les digues,
- Créer de nouveaux espaces de rétention des crues,
- Décharger le réseau de canalisations en déconnectant les eaux de surface aux alentours du réseau d'égout ; évacuer l'eau en surface et favoriser l'infiltration.

Plus d'informations :

http://www.dat.public.lu/publications/documents/C-Change/CChange_conclusions.pdf

Impacts climatiques pertinents : augmentation des besoins en eau, garantie de l'approvisionnement en eau potable, abaissement de la nappe phréatique, augmentation des précipitations intenses locales, augmentation du nombre de crues et modification des valeurs d'expérience)

Le premier *Plan de gestion des risques d'inondation selon la directive relative à l'évaluation et à la gestion des risques d'inondation (directive 2007/60/CE, Ministère du Développement durable et des Infrastructures, 2015)* prévoit les mesures suivantes pour le secteur 'Régime hydrologique et gestion de l'eau' (tableau 9).

A noter cependant que les impacts du changement climatique n'ont jusqu'à présent pas été pris en compte dans les bases de dimensionnement des mesures et qu'ils devront l'être au cours du deuxième cycle à partir de 2021.

Tableau 9 : Mesures d'adaptation fixées au titre de la directive « Inondation »

N°	Aspect de la GRI	Bloc de mesures / groupe de mesures (= domaine d'application 2010 de la LAWA)	Description sommaire Type de mesure
301	Prévention	Prévention (Gestion des surfaces)	Aménagement du territoire adapté
302			Définition de zones inondables
303			Aménagement du territoire adapté
304			Adaptation de l'utilisation des surfaces
305		Éloignement/déplacement (Gestion des surfaces)	Enlèvement ou relocalisation
306		Réduction (Gestion du bâti)	Planification, construction et rénovation adaptées aux inondations
307			Protection individuelle
308			Traitement adapté aux crues des substances dangereuses pour l'eau
309		D'autres mesures préventives ne sont pas d'application au Luxembourg puisque les objectifs sont atteints avec les mesures ci-dessus.	
310	Protection	Gestion des inondations / débits et gestion des bassins versants (rétention naturelle) (Rétention naturelle des eaux)	Rétention naturelle dans les bassins versants (Rétention dans le bassin)
311			Rétention naturelle dans la plaine alluviale (Rétention dans les cours d'eau)
312			Réduction des surfaces scellées
313			Gestion des eaux pluviales
314			Reconquête de zones inondables
315		Régulation des débits (protection technique contre les inondations)	Planification et construction de mesures de rétention de crue
316			Exploitation, entretien et réhabilitation de mesures de rétention des crues
317		Installation dans le lit des cours d'eau et dans les zones inondables (protection technique contre les inondations)	Digues, murs anti-inondations, protections mobiles (construction)
318			Entretien d'ouvrages de protection fixes et mobiles
319		Gestion des cours d'eau de surface (protection technique contre les inondations)	Agrandissement de la section d'écoulement en crue dans la zone urbaine et dans la plaine d'inondation (construction)
320			Maintien de la section d'écoulement en crue par entretien de cours d'eau
321		D'autres mesures de protection ne sont pas d'application au Luxembourg puisque les objectifs sont atteints avec les mesures ci-dessus.	
322	Gestion	Prévision des crues et alerte (diffusion de l'information)	Information des crues et prévision
323			Système communal d'alerte et d'information
324		Plan d'urgence (prévention des risques et des catastrophes)	Planification des alertes et interventions d'urgence

325	Remise en état / régénération	Prise de conscience du public et prévention (comportement préventif)	Préparation au cas d'inondation
326		Autres mesures de prévention (prévention du risque)	Prévention financière
327		Surmonter les conséquences pour l'individu et la société(régénération)	Aide à la construction et à la reconstruction, planification après sinistre
328		D'autres mesures dans le domaine de la reconstruction et régénération ne s'appliquent pas puisque les objectifs sont atteints avec les mesures ci-dessus.	

Renseignements complémentaires :

https://eau.public.lu/directive_cadre_eau/directive_inondation/1er-cycle/HWRML-PL_final/HWRM-PL_2015_final_151218.pdf

Impacts climatiques pertinents : augmentation des précipitations intenses locales, augmentation du nombre de crues et modification des valeurs d'expérience, modification de la répartition saisonnière des précipitations, augmentation des dommages imputables aux événements extrêmes

Le guide « *Leitfaden zum Umgang mit Regenwasser in Siedlungsgebieten Luxemburgs* » (Ministère de l'Intérieur et à la Grande Région) recommande les mesures d'économie d'eau suivantes pour le secteur 'Régime hydrologique et gestion de l'eau' :

- les nouvelles zones d'implantation urbaine ou d'aménagement urbain doivent être exclusivement raccordées à un système séparatif,
- campagnes de sensibilisation du public aux économies d'eau et notamment aux appareils domestiques à faible consommation d'eau.

Renseignements complémentaires :

https://eau.public.lu/publications/brochures/Regenwasserleitfaden/Leitfaden_pdf.pdf

Impacts climatiques pertinents : assurer l'approvisionnement en eau potable, augmentation des périodes de sécheresse, abaissement de la nappe phréatique

Des mesures de protection de l'eau potable sont prises dans le cadre du deuxième *plan de gestion de bassin* (AGE, 2015), comme par exemple la prévention de la pollution des eaux souterraines en général (p. ex. à l'aide de mesures agroenvironnementales) ou encore des mesures particulières dans des zones dites de protection de l'eau potable.

Les mesures concernant les zones de protection d'eau potable autour de points de captage d'eaux souterraines ont été déclarées obligatoires dans le *Règlement grand-ducal du 9 juillet 2013 relatif aux mesures administratives dans l'ensemble des zones de protection pour les masses d'eau souterraine ou des parties de masses d'eau souterraine servant de ressource à la production d'eau destinée à la consommation humaine*. La désignation est en cours dans les sept zones, et des programmes de mesures détaillés sont en cours d'élaboration. Les dispositions en place seront remaniées ou de nouvelles seront fixées dans les zones de protection d'eau potable si cela s'avère nécessaire pour assurer la protection de la ressource en eau potable.

Renseignements complémentaires :

[http://geoportail.eau.etat.lu/pdf/plan%20de%20gestion/2.%20Bewirtschaftungsplan%20f%3bcr%20Luxemburg%20\(2015-2021\)_22.12.2015.pdf](http://geoportail.eau.etat.lu/pdf/plan%20de%20gestion/2.%20Bewirtschaftungsplan%20f%3bcr%20Luxemburg%20(2015-2021)_22.12.2015.pdf)

Impacts climatiques pertinents : assurer l'approvisionnement en eau potable, augmentation des périodes de sécheresse, abaissement de la nappe phréatique

5.12.2. Mesures futures

Les trois mesures suivantes sont définies pour le secteur 'Régime hydrologique et gestion de l'eau'. La mise en œuvre des mesures dépend de la mise à disposition de ressources financières et humaines suffisantes.

Désignation de la mesure	<i>Prendre en compte les événements pluvieux intenses dans le deuxième Plan de gestion des risques d'inondation</i>
Code mesure	WW01
Impact climatique	Augmentation des précipitations intenses
Secteur	Régime hydrologique et gestion de l'eau
Type de mesure	Politique des finances, sensibilisation, infrastructures, recherche et suivi
Objectif de la mesure	Réduire les impacts négatifs des événements pluvieux intenses
Description de la mesure	Dans le cadre de cette mesure, les étapes suivantes sont p. ex. à fixer : • Mandater une étude des impacts des événements pluvieux intenses sur le trafic, les réseaux de canalisation, les infrastructures des bâtiments, l'agriculture, les plans d'intervention des services de secours et la qualité des eaux. Il s'agit notamment ici d'estimer les impacts à l'échelle locale, p. ex. les hauteurs de submersion, • Établir des cartes des zones inondables et des risques d'inondation au titre de la directive « Inondation », • Établir des programmes de mesures au titre de la directive « Inondation », • Adapter la gestion des bassins (versants montagneux) et éviter le compactage du sol, • Créer des espaces de rétention naturels et renaturer le paysage fluvial, • Adapter les règlements de canalisation, • Réaliser un suivi en y associant les communes/syndicats des eaux.
Observations supplémentaires	http://www.climate-service-center.de/imperia/md/content/csc/workshopdokumente/extremwetterereignisse/csc_machbarkeitsstudie_abschlussbericht.pdf

Responsabilité de mise en œuvre	Ministère de l'Environnement, du Climat et du Développement durable , Administration de la gestion de l'eau
Acteurs concernés	Communes, syndicats des eaux, services de secours, agriculture
Indicateur de suivi des progrès réalisés dans la mise en œuvre	Rédaction d'une étude sur les événements pluvieux intenses (prévue dans le cadre du deuxième plan de gestion des risques d'inondation)

Désignation de la mesure	Mesures visant à abaisser la température de l'eau
Code mesure	WW02
Impact climatique	Hausse des températures de l'eau
Secteur	Régime hydrologique et gestion de l'eau
Type de mesure	Infrastructures, végétation
Objectif de la mesure	Remédier à la hausse des températures de l'eau
Description de la mesure	L'aménagement de bandes riveraines est une mesure qui bénéficie d'un soutien de plus en plus important dans le cadre des mesures agroenvironnementales et de la directive cadre sur l'eau (DCE). A l'heure actuelle, ces bandes servent avant tout de surfaces tampons et de surfaces de rétention ou encore de zones de transition entre les surfaces à utilisation agricole intensive et le cours d'eau. Elles empêchent ou réduisent l'apport de substances dû à l'érosion due au ruissellement de surface et plus particulièrement le contact avec les produits phytosanitaires et fertilisants. Le plus souvent, ces surfaces ne se caractérisent que par une végétation basse. Si elles sont arbustives ou forestières, ces bandes remplissent non seulement les fonctions susmentionnées, mais contribuent également par leur ombragement à abaisser le réchauffement des rivières en été. La prolifération des algues ou l'enherbement excessif sont ainsi empêchés. Dans le cadre de cette mesure, les étapes suivantes sont p.ex. à fixer : • Mesures d'ombragement au moyen de bandes riveraines • Renaturations • Limiter la température dans les conduites d'évacuation des eaux usées • Monitoring
Observations supplémentaires	
Responsabilité de mise en œuvre	Ministère de l'Environnement, du Climat et du Développement durable, Ministère de l'Agriculture, de la Viticulture et du Développement rural, Administration de la gestion de l'eau, Administration de la nature et des forêts
Acteurs concernés	Communes, syndicats d'eau, contrats de rivière, parcs naturels, stations biologiques
Indicateur de suivi des progrès réalisés dans la mise en œuvre	Surfaces de bandes riveraines à végétation haute (peuvent être recensées dans le cadre de la cartographie hydrologique au titre de la DCE)

Désignation de la mesure	Protéger les ressources actuelles et futures d'eau potable (en termes quantitatives et qualitatives)
Code mesure	WW03
Impact climatique	Sécurité de l'approvisionnement en eau potable
Secteur	Régime hydrologique et gestion de l'eau
Type de mesure	Sensibilisation, infrastructures, politique réglementaire
Objectif de la mesure	Réduire la pollution des ressources d'eau potable et la consommation d'eau
Description de la mesure	Cette mesure vise à :

	- protéger toutes les ressources utilisées pour la production d'eau potable afin de préserver une bonne qualité, - protéger toutes les ressources qui ne sont actuellement pas utilisées pour la production d'eau potable en raison des pressions trop importantes (pollution par les nitrates, pesticides, etc.), afin d'améliorer la qualité de l'eau et de respecter à nouveau les exigences posées à l'approvisionnement en eau potable, - réduire la consommation d'eau potable moyenne par habitant grâce à des mesures d'économie d'eau afin de garantir la sécurité d'approvisionnement malgré la croissance démographique, - désigner des périmètres de protection d'eau potable et mettre en œuvre des programmes de mesures, - épurer efficacement les eaux usées (éviter l'utilisation d'eau potable pour les processus qui ne nécessitent pas d'eau potable), - promouvoir l'utilisation des eaux de pluie et des eaux grises, - promouvoir des modes de gestion du sol contribuant à recharger la nappe phréatique, - mettre en œuvre des mesures d'économie d'eau dans les industries grosses consommatrices.
Observations supplémentaires	
Responsabilité de mise en œuvre	Ministère de l'Environnement, du Climat et du Développement durable ,Administration de la gestion de l'eau
Acteurs concernés	Représentants de la gestion des eaux (communes), représentants d'exploitations agricoles
Indicateur de suivi des progrès réalisés dans la mise en œuvre	- Consommation d'eau potable moyenne par habitant - Pourcentage des quantités d'eau non facturées par commune - Réduction des pertes d'eau dans le réseau d'eau potable

Désignation de la mesure	Adapter le traitement des eaux usées et utiliser efficacement les eaux usées
Code mesure	WW04
Impact climatique	Sécurité de l'évacuation des eaux, sécurité de l'approvisionnement en eau potable
Secteur	Régime hydrologique et gestion de l'eau
Type de mesure	Infrastructures, politique réglementaire
Objectif de la mesure	Réduire les risques pour l'évacuation des eaux, réduire la consommation d'eau
Description de la mesure	Les variations saisonnières des précipitations confronteront la gestion des eaux urbaines à des défis importants à la gestion des eaux urbaines, étant donné que le réseau hydrographique luxembourgeois est essentiellement constitué de petits ruisseaux dont le débit se réduira dorénavant pendant les mois d'été, ce qui aura des impacts sur les valeurs des flux sortant des stations d'épuration. Un autre défi à relever par les exploitants de stations d'épuration est celui des précipitations intenses. Dans le cadre de cette mesure, les étapes suivantes sont p. ex. à fixer : - Optimiser l'assainissement des eaux usées (micropolluants), - Promouvoir l'utilisation des eaux grises,

	- Assurer l'efficacité de l'assainissement des eaux usées (éviter l'utilisation d'eau potable pour les processus qui ne nécessitent pas d'eau potable), - Limiter la température dans les conduites d'évacuation des eaux usées, - Promouvoir des systèmes d'assainissement décentralisés (p. ex. au sein des hôpitaux et d'autres structures médicales), - Promouvoir le recyclage des eaux usées (p. ex. du phosphore extrait des boues d'épuration)
Observations supplémentaires	
Responsabilité de mise en œuvre	Ministère de l'Environnement, du Climat et du Développement durable , Administration de la gestion de l'eau
Acteurs concernés	Représentants de la gestion des eaux (communes), représentants d'exploitations agricoles
Indicateur de suivi des progrès réalisés dans la mise en œuvre	- Utilisation des eaux grises, - Nombre de stations d'épuration équipées d'un dispositif de traitement quaternaire

5.13. Economie

5.13.1. Mesures en place

Le guichet citoyen en ligne (<http://www.guichet.public.lu>) renseigne sur les mesures de précaution à adopter en cas d'alerte canicule :

Plus d'informations :

<http://www.guichet.public.lu/citoyens/de/actualites/2016/08/23-alerte-canicule/index.html>

Impacts climatiques pertinents : baisse de capacité de travail et d'efficacité due au stress thermique

5.13.2. Mesures futures

Les trois mesures suivantes sont définies pour le secteur 'Activité économique'. La mise en œuvre des mesures dépend de la mise à disposition de ressources financières et humaines suffisantes.

Désignation de la mesure	<i>Prendre des mesures constructives pour réduire la pression thermique dans les bâtiments d'exploitation (construction/rénovation)</i>
Code mesure	W01
Impact climatique	Baisse de capacité de travail et d'efficacité due au stress thermique
Secteur	Activité économique
Type de mesure	Réglementation
Objectif de la mesure	Réduction du stress thermique au travail
Description de la mesure	Autant pour les activités intellectuelles que pour les activités physiques, la réduction de la productivité et de la concentration induite par la chaleur sur le

	lieu de travail peut atteindre 70 %. La qualité du travail en souffre. Le risque d'accidents augmente. Dans le cadre de cette mesure, les étapes suivantes sont p. ex. à fixer : • Prendre entre autres en compte les conditions climatiques et leurs impacts sur la santé des salariés dans le cadre de l'évaluation des postes de travail, conformément à la loi concernant la protection des travailleurs. • Protéger contre le rayonnement solaire direct p. ex. en installant des persiennes, en aménageant des espaces verts etc. • Assurer une climatisation, • Installer des douches, • Réduire les machines émettrices de chaleur (ordinateurs) dans les locaux de travail
Observations supplémentaires	http://www.guichet.public.lu/citoyens/de/actualites/2016/08/23-alerte-canicule/index.html https://www.baua.de/DE/Themen/Arbeitsgestaltung-im-Betrieb/Physikalische-Faktoren-und-Arbeitsumgebung/Klima-am-Arbeitsplatz/Sommertipps.html
Responsabilité de mise en œuvre	Ministère de l'Énergie et de l'Aménagement du territoire, Ministère de la Santé, Inspection du travail et des mines, Ministère de l'Environnement, du Climat et du Développement durable
Acteurs concernés	Service de Santé au Travail Multisectoriel, Service de Santé au Travail de l'Industrie, Administration des bâtiments publics, OAI
Indicateur de suivi des progrès réalisés dans la mise en œuvre	Nombre des bâtiments ayant fait l'objet d'une rénovation thermique

Désignation de la mesure	<i>Adapter les services d'assurance</i>
Code mesure	W02
Impact climatique	Augmentation des événements extrêmes (secteur des assurances) et propagation d'organismes nuisibles (santé animale et végétale)
Secteur	Activité économique, agriculture
Type de mesure	Politique des finances
Objectif de la mesure	Réduire la vulnérabilité agricole par le biais d'assurances contre les pertes de récolte causées par le climat (quantités élevées et irrégulières de précipitations, périodes sèches) et contre les épizooties/maladies animales
Description de la mesure	Les étapes suivantes sont à fixer pour mettre en œuvre cette mesure : • Faire un recensement des assurances contre les pertes de récolte et les épizooties/maladies animales, en cas de baisse de productivité (animale) Ce recensement portera d'une part sur le type de la production couverte par l'assurance (p. ex. cultures fruitières et viticoles), mais d'autre part également sur les risques naturels et les risques de survenance d'épizooties / de maladies animales couverts par l'assurance agricole. • La stratégie à suivre ensuite est à définir sur la base des résultats de ce recensement, éventuellement en coopération avec le secteur des assurances (types d'assurance). Il conviendra par ailleurs de préciser les conditions d'un recours à des aides publiques pour les dommages non couverts par les assurances. Cette analyse s'impose également en vue de la prochaine période de financement de la PAC qui est susceptible de prévoir des mécanismes de minimisation des risques.
Observations supplémentaires	

Responsabilité de mise en œuvre	Ministère des Finances, Ministère de l'Agriculture, de la Viticulture et du Développement rural
Acteurs concernés	Assurances, groupements d'intérêt, représentants d'exploitations agricoles, organisations de conseil, organisations d'élevage, Chambre d'agriculture
Indicateur de suivi des progrès réalisés dans la mise en œuvre	Rapports d'étape réguliers

Désignation de la mesure	<i>Mettre au point une analyse des risques portant sur l'apparition et les répercussions d'événements extrêmes sur le Data Center et établir un plan de mesures</i>
Code mesure	W03
Impact climatique	Apparition plus fréquente de vagues de chaleur (centres de données - Data Center)
Secteur	Activité économique
Type de mesure	Réglementation, politique des finances, sensibilisation, infrastructures, recherche
Objectif de la mesure	Sécurisation des centres de données implantés au Luxembourg pour les adapter aux conditions climatiques changeantes
Description de la mesure	Le Luxembourg compte parmi les pays européens les plus denses en centres de données (près de 50 000 m²). Il offre un très bon accès aux points d'échange internet européens ainsi qu'au réseau de distribution d'électricité et assure un haut niveau de sécurité technique et juridique. Les deux tiers de ces centres de données sont certifiés « Tier IV » (Uptime Institute). De ce fait, le Luxembourg attire des prestataires de services informatiques manipulant des données sensibles et recherchant un hébergement fiable. Correspondant au plus haut standard de qualité et mettant le focus sur l'accessibilité, Tier IV exige un refroidissement en continu. La définition de ce standard exige non seulement une autonomie de 12 heures du système de refroidissement (énergie, liquide de refroidissement), mais elle concerne également le dimensionnement : « <i>The capacity of all equipment that rejects heat to the atmosphere shall be determined at the Extreme Annual Design Conditions that best represents the data center location in the most recent edition of the ASHRAE Handbook – Fundamentals. ... temperature for design shall be the "N=20 years" value.</i> » À ce niveau, la mesure concernée est la suivante : un épisode de chaleur vicennal pourrait s'avérer insuffisant comme critère de majoration du risque dans le dimensionnement des systèmes de refroidissement. Dans le cadre de cette mesure, les étapes suivantes sont p. ex. à fixer : • Définir une majoration du risque pour le dimensionnement du système de refroidissement en prenant en compte l'intensité des ondes de chaleur annoncées par les projections et les capacités de charge thermique des serveurs modernes, • Développer un contrôle simple permettant également aux centres de données non certifiés de se prémunir suffisamment contre les futures vagues de chaleur, • Valoriser par recyclage l'énergie thermique. Outre les conseils sur le dimensionnement du système de refroidissement, il convient également d'élaborer un plan d'urgence notamment en cas de défaillance dans des conditions de chaleur élevée.
Observations supplémentaires	https://uptimeinstitute.com/ https://ict.investinluxembourg.lu/why-luxembourg/ict-luxembourg/data-centres-ecosystems https://ec.europa.eu/jrc/en/energy-efficiency/code-conduct/datacentres

Responsabilité de mise en œuvre	Ministère d'État (Service des médias et des communications), Ministère de l'Environnement, du Climat et du Développement durable
Acteurs concernés	Service météorologique, secteurs de l'énergie et de la télécommunication
Indicateur de suivi des progrès réalisés dans la mise en œuvre	Nombre de centres de données disposant d'un plan de gestion des risques

Désignation de la mesure	<i>Évaluer l'analyse des risques économiques découlant des impacts du changement climatique</i>
Code mesure	W04
Impact climatique	Actifs dépréciés dans le secteur des énergies fossiles
Secteur	Activité économique
Type de mesure	Politique des finances, recherche, sensibilisation
Objectif de la mesure	Réduire les risques économiques liés à l'investissement dans les matières premières fossiles
Description de la mesure	Avec la décision de contenir le réchauffement climatique en dessous de 2 °C voire de 1,5 °C, l'Accord de Paris sur le climat fixe des limites concrètes à la consommation d'énergies fossiles. Au cas où ces réserves fossiles ne seraient pas exploitées, il pourrait en résulter ce que l'on appelle des « stranded assets » (« actifs dépréciés »). Les conséquences peuvent en être particulièrement lourdes pour les pays dont le développement économique et social dépend des matières premières fossiles. Un changement climatique incontrôlé aurait cependant également des conséquences importantes et même plus catastrophiques pour les économies mondiales. Le secteur le plus touché est celui de l'immobilier, suivi par le secteur des investissements dans les entreprises d'extraction de ressources fossiles et de production d'énergies fossiles. Les étapes suivantes sont à fixer pour mettre en œuvre cette mesure : • Évaluer les répercussions économiques du changement climatique sur le Luxembourg • Analyser les risques des divers investissements
Observations supplémentaires	
Responsabilité de mise en œuvre	Ministère des Finances, Ministère de l'Economie
Acteurs concernés	Chambre de commerce
Indicateur de suivi des progrès réalisés dans la mise en œuvre	Rapports d'étape réguliers

5.14. Mesures intersectorielles

La sensibilisation aux répercussions du changement climatique revêt une importance particulière dans la mise en œuvre de la stratégie d'adaptation luxembourgeoise. La mesure suivante s'applique à tous les secteurs concernés.

Désignation de la mesure	<i>Communiquer sur l'adaptation au changement climatique</i>
Code mesure	S01
Impact climatique	Tous
Secteur	Tous

Type de mesure	Sensibilisation
Objectif de la mesure	L'objectif de cette mesure consiste à sensibiliser aux questions d'adaptation au changement climatique la population, des groupes cibles sélectionnés et également le secteur administratif.
Description de la mesure	Dans le contexte de cette mesure, les étapes suivantes sont p. ex. à fixer : • Définir et caractériser les groupes cibles, • Développer des campagnes de sensibilisation spécifiques aux groupes cibles, • Concerter ces campagnes avec les acteurs pertinents, • Produire des outils ciblés d'information et de sensibilisation, • Coopérer étroitement avec les médias pertinents (presse écrite et audiovisuelle etc.), • Coopérer avec les journalistes qui accompagnent ce processus, • La protection du climat et l'adaptation au changement climatique doivent être abordées dans l'enseignement primaire, secondaire et tertiaire. • Organiser des formations continues sur mesure pour des secteurs professionnels choisis.
Observations supplémentaires	
Responsabilité de mise en œuvre	Ministère de l'Environnement, du Climat et du Développement durable
Acteurs concernés	Tous les ministères, les parties prenantes importantes, les médias les plus divers, les journalistes etc.
Indicateur de suivi des progrès réalisés dans la mise en œuvre	Nombre de campagnes de sensibilisation mises en œuvre

6. INTERFACES ENTRE LES SECTEURS DANS LE CADRE DE L'ADAPTATION AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Sont exposés dans le présent chapitre les différents secteurs sous l'angle de leurs interfaces avec d'autres secteurs. Sur la base de cette description, il convient d'exploiter les synergies émergeant des approches de maîtrise des différents impacts du changement climatique et de renforcer la coopération intersectorielle pour engager des mesures efficaces et ciblées.

CONSTRUCTION ET LOGEMENT

Le secteur 'Construction et logement' présente surtout des interfaces avec les secteurs 'Santé humaine', 'Aménagement du territoire', 'Espaces urbains' et 'Régime hydrologique et gestion de l'eau'. Une présentation détaillée figure au *Tableau 10*.

Tableau 10 : Interfaces impacts climatiques secteur « Construction et logement »

Impact climatique	Énergie	Sylviculture	Infra-structures	Gestion des crises et des accidents majeurs	Aménagement du territoire	Agriculture	Santé humaine	Ecosystèmes et biodiversité	Tourisme	Espaces urbains	Régime hydrologique et gestion de l'eau	Economie
Réduction du besoin en chauffage en hiver	x									x		
Dommages secondaires imputables aux risques naturels				x	x		x			x	x	
Températures plus élevées en été (climat intérieur des bâtiments)	x				x		x			x		
Répercussions plus intenses des événements extrêmes (capacité de rétention)				x			x			x	x	

ÉNERGIE

Le secteur 'Énergie' présente surtout des interfaces avec les secteurs 'Infrastructures', 'Espaces urbains', 'Régime hydrologique et gestion de l'eau' et 'Activité économique'. Une présentation détaillée figure au *Tableau 11*.

Tableau 11 : Interfaces impacts climatiques secteur « Énergie »

Impact climatique	Construction & logement	Sylviculture	Infra-structures	Gestion des crises et des accidents majeurs	Agriculture	Santé humaine	Ecosystèmes et biodiversité	Aménagement du territoire	Tourisme	Espaces urbains	Régime hydrologique et gestion de l'eau	Economie
Modification des ressources disponibles en eau	X										X	
Production de biomasse plus élevée		X			X							
Augmentation du nombre de jours de tempête			X					X			X	X
Modification de la demande en électricité	X									X	X	X
Augmentation des impacts d'événements extrêmes			X							X		X
Potentiels plus élevés/plus faibles pour l'utilisation d'énergie solaire										X	X	
Augmentation du nombre de jours de tempête		X	X		X		X					

SYLVICULTURE

Le secteur 'Sylviculture' présente surtout des interfaces avec les secteurs 'Infrastructures', 'Espaces urbains', 'Régime hydrologique et gestion de l'eau' et 'Activité économique'. Une présentation détaillée figure au *Tableau 12*.

Tableau 12 : Interfaces impacts climatiques secteur « Sylviculture »

Impact climatique	Construction & logement	Énergie	Infrastructures	Gestion des crises et des accidents majeurs	Agriculture	Santé humaine	Ecosystèmes et biodiversité	Aménagement du territoire	Tourisme	Espaces urbains	Régime hydrologique et gestion de l'eau	Economie
Dommages forestiers abiotiques			x	x								
Modification de la composition des espèces (d'arbres)				x			x					
Modification du rendement potentiel		x			x							
Augmentation du risque de feux de forêt	x		x	x	x	x		x		x		x
Augmentation du nombre d'organismes nuisibles indigènes				x	x							
Espèces exotiques envahissantes					x	x						
Accélération des processus de transformation (dans les sols)					x		x					
Augmentation du risque de tempête		x	x		x		x					

INFRASTRUCTURES

Le secteur 'Infrastructures' présente surtout des interfaces avec les secteurs 'Construction et logement', 'Énergie', 'Espaces urbains' et 'Activité économique'. Une présentation détaillée figure au *Tableau 13*.

Tableau 13 : Interfaces impacts climatiques secteur « Infrastructures »

Impact climatique	Construction & logement	Énergie	Sylviculture	Gestion des crises et des accidents majeurs	Agriculture	Santé humaine	Ecosystèmes et biodiversité	Aménagement du territoire	Tourisme	Espaces urbains	Régime hydrologique et gestion de l'eau	Economie
Modification des risques naturels potentiels	x	x	x	x		x		x		x	x	x
Augmentation des effets économiques	x	x										x
Sollicitation plus importante des matériaux	x	x										x
Besoins de rafraîchissement plus élevés dans les transports publics		x								x		
Risque de défaillance accru	x									x		
Navigation menacée												x
Perturbation des infrastructures sous l'effet de la chaleur												x

GESTION DES CRISES ET DES ACCIDENTS MAJEURS

Le secteur 'Gestion des crises et des accidents majeurs' présente surtout des interfaces avec les secteurs 'Construction et logement', 'Énergie', 'Infrastructures', 'Santé humaine', 'Aménagement du territoire', 'Espaces urbains' et 'Activité économique'. Une présentation détaillée figure au *Tableau 14*.

Tableau 14 : Interfaces impacts climatiques secteur « Gestion des crises et des accidents majeurs »

Impact climatique	Construction & logement	Énergie	Sylviculture	Infrastructures	Agriculture	Santé humaine	Ecosystèmes et biodiversité	Aménagement du territoire	Tourisme	Espaces urbains	Régime hydrologique et gestion de l'eau	Economie
Modification des risques potentiels d'incendie	x		x	x		x		x		x		
Altération des infrastructures de transport				x		x						
Décalage de la survenance d'événements dans le temps, variance		x		x		x					x	
Sécurité d'approvisionnement en énergie menacée		x		x								
Répercussions plus intenses des événements extrêmes		x		x	x	x		x		x		x
Approvisionnement en eau potable et traitement des eaux usées menacés	x			x	x	x						
Augmentation des dommages primaires et secondaires imputables aux risques naturels	x	x		x	x			x		x	x	x
Apparition d'événements non dimensionnés jusqu'à présent	x	x		x	x	x		x		x		x
Augmentation des coûts	x	x		x	x							

AMÉNAGEMENT DU TERRITOIRE

Le secteur de 'Aménagement du territoire' présente surtout des interfaces avec les secteurs 'Construction et logement', 'Infrastructures', 'Gestion des crises et des accidents majeurs', 'Santé humaine', 'Espaces urbains' et 'Activité économique'. Une présentation détaillée figure au *Tableau 15*.

Tableau 15 : Interfaces impacts climatiques secteur « Aménagement du territoire »

Impact climatique	Construction & logement	Énergie	Sylviculture	Infrastructures	Gestion des crises et des accidents majeurs	Agriculture	Santé humaine	Ecosystèmes et biodiversité	Tourisme	Espaces urbains	Régime hydrologique et gestion de l'eau	Economie
Modification des zones vulnérables	x			x	x		x		x	x		x
Effet accru d'îlots de chaleur	x						x			x		
Adéquation modifiée des sols aux usages	x			x			x		x	x		x
Pression croissante sur les espaces libres	x					x		x		x		
Aggravation de conflits d'intérêt sur l'emprise des sols	x	x	x	x		x		x		x		x

AGRICULTURE, Y COMPRIS SANTÉ DES ANIMAUX ET DES VÉGÉTAUX

Le secteur 'Agriculture (y compris santé des animaux et des végétaux)' présente surtout des interfaces avec les secteurs 'Énergie', 'Santé humaine', 'Écosystèmes et biodiversité', 'Régime hydrologique et gestion de l'eau' et 'Activité économique'. Une présentation détaillée figure au *Tableau 16*.

Tableau 16 : Interfaces impacts climatiques secteur « Agriculture, y compris santé des animaux et des végétaux »

Impact climatique	Construction & logement	Énergie	Sylviculture	Infrastructures	Gestion des crises et des accidents majeurs	Santé humaine	Ecosystèmes et biodiversité	Aménagement du territoire	Tourisme	Espaces urbains	Régime hydrologique et gestion de l'eau	Economie
Augmentation de la pression thermique											x	
Augmentation des événements météorologiques extrêmes		x		x								x
Modification des ressources disponibles en eau											x	
Augmentation de la demande en irrigation											x	
Altération de la fertilité du sol, de sa structure et de sa stabilité								x				x
Modification des risques naturels potentiels					x							
Apparition de nouvelles maladies						x	x					
Prolongation de la période végétative		x				x						
Augmentation des organismes nuisibles indigènes							x					x
Espèces exotiques envahissantes						x	x					x
Accélération des processus de transformation (dans les sols)		x										x

SANTÉ HUMAINE

Le secteur 'Santé humaine' présente surtout des interfaces avec les secteurs 'Construction et logement', 'Écosystèmes et biodiversité' et 'Espaces urbains'. Une présentation détaillée figure au *Tableau 17*.

Tableau 17 : Interfaces impacts climatiques secteur « Santé humaine »

Impact climatique	Construction & logement	Énergie	Sylviculture	Infrastructures	Gestion des crises et des accidents majeurs	Agriculture	Ecosystèmes et biodiversité	Aménagement du territoire	Tourisme	Espaces urbains	Régime hydrologique et gestion de l'eau	Economie
Augmentation du risque d'exposition de la population aux événements extrêmes	x				x			x		x		
Qualité des eaux menacée										x	x	
Augmentation des agents pathogènes							x			x		
Hausse du stress thermique	x									x		
Augmentation des organismes allergènes							x			x		
Apparition de nouveaux agents pathogènes							x			x		

ECOSYSTÈMES ET BIODIVERSITÉ

Le secteur 'Écosystèmes et biodiversité' présente surtout des interfaces avec les secteurs 'Sylviculture', 'Agriculture' et 'Santé humaine'. Une présentation détaillée figure au *Tableau 18*.

Tableau 18 : Interfaces impacts climatiques secteur « Écosystèmes et biodiversité »

Impact climatique	Construction & logement	Énergie	Sylviculture	Infrastructures	Gestion des crises et des accidents majeurs	Agriculture	Aménagement du territoire	Santé humaine	Tourisme	Espaces urbains	Régime hydrologique et gestion de l'eau	Economie
Habitats humides menacés									x		x	
Déplacement d'habitats			x			x						
Hausse de température des cours d'eau		x				x		x			x	
Modification de la phénologie / du comportement de reproduction			x			x		x				
Modification de la composition des espèces			x			x		x				
Espèces exotiques envahissantes			x			x		x				

TOURISME

Le secteur 'Tourisme' présente surtout des interfaces avec les secteurs 'Santé humaine' et 'Espaces urbains'. Une présentation détaillée figure au *Tableau 19*.

Tableau 19 : Interfaces impacts climatiques secteur « Tourisme »

Impact climatique	Construction & logement	Énergie	Sylviculture	Infrastructures	Gestion des crises et des accidents majeurs	Agriculture	Santé humaine	Ecosystèmes et biodiversité	Aménagement du territoire	Espaces urbains	Régime hydrologique et gestion de l'eau	Economie
Augmentation des événements météorologiques extrêmes							x			x		
Augmentation de la pression thermique							x			x		

ESPACES URBAINS

Le secteur 'Espaces urbains' présente surtout des interfaces avec les secteurs 'Énergie', 'Infrastructures', 'Gestion des crises et des accidents majeurs', 'Santé humaine', 'Aménagement du territoire' et 'Régime hydrologique et gestion de l'eau'. Une présentation détaillée figure au *Tableau 20*.

Tableau 20 : Interfaces impacts climatiques secteur « Espaces urbains »

Impact climatique	Construction & logement	Énergie	Sylviculture	Infrastructures	Gestion des crises et des accidents majeurs	Agriculture	Santé humaine	Ecosystèmes et biodiversité	Aménagement du territoire	Tourisme	Régime hydrologique et gestion de l'eau	Economie
Apparition plus fréquente d'ondes de chaleur	x	x		X	x		x		x		x	x
Augmentation de la variabilité des précipitations		x		X	x		x		x		x	

Augmentation des événements météorologiques extrêmes	x	x		X	x		x		x		x	x
Augmentation des espèces envahissantes							x					

RÉGIME HYDROLOGIQUE ET GESTION DE L'EAU

Le secteur 'Régime hydrologique et gestion de l'eau' présente surtout des interfaces avec les secteurs 'Construction et logement', 'Énergie', 'Gestion des crises et des accidents majeurs', 'Agriculture', 'Santé humaine', 'Aménagement du territoire' et 'Activité économique'. Une présentation détaillée figure au *Tableau 21*.

Tableau 21 : Interfaces impacts climatiques secteur « Régime hydrologique et gestion de l'eau »

Impact climatique	Construction & logement	Énergie	Sylviculture	Infrastructures	Gestion des crises et des accidents majeurs	Agriculture	Santé humaine	Ecosystèmes et biodiversité	Aménagement du territoire	Tourisme	Espaces urbains	Economie
Modification des ressources disponibles en eau		x				x						x
Augmentation des événements extrêmes	x	x		x	x	x			x		x	x
Augmentation des périodes de sécheresse		x									x	x
Augmentation des besoins en eau		x				x						
Hausse des températures de l'eau							x	x				
Modification de la répartition saisonnière des précipitations		x			x	x		x	x		x	
Modifications du régime hydrologique		x										
Augmentation du nombre de crues	x	x		x	x	x	x		x	x	x	x
Abaissement de la nappe phréatique		x				x						

Sécurité de l'évacuation des eaux											x	
Sécurité de l'approvisionnement en eau potable							x				x	

ACTIVITÉ ÉCONOMIQUE

Le secteur 'Activité économique' présente surtout des interfaces avec les secteurs 'Énergie', 'Agriculture', 'Santé humaine', 'Espaces urbains' et 'Régime hydrologique et gestion de l'eau'. Une présentation détaillée figure au *Tableau 22*.

Tableau 22 : Interfaces impacts climatiques secteur « Economie »

Impact climatique	Construction & logement	Énergie	Sylviculture	Infrastructures	Gestion des crises et des accidents majeurs	Agriculture	Santé humaine	Ecosystèmes et biodiversité	Aménagement du territoire	Tourisme	Espaces urbains	Régime hydrologique et gestion de l'eau
Modification des ressources disponibles en eau		x				x					x	x
Hausse du stress thermique au travail							x					
Augmentation des événements extrêmes (secteur des assurances)			x			x						
Apparition plus fréquente de vagues de chaleur (centres de données - Data Center)				x								
Actifs dépréciés dans le secteur des énergies fossiles												

7. LIENS AVEC D'AUTRES STRATÉGIES

Si les objectifs poursuivis en matière d'adaptation au changement climatique sont concordants avec ceux d'autres stratégies luxembourgeoises, un soutien direct réciproque est possible. Une fois les interconnexions identifiées, il sera également possible de réduire ou d'éviter des conflits entre différents processus stratégiques. C'est pourquoi le présent chapitre décrit d'autres stratégies en vigueur ou en cours d'élaboration pour le Luxembourg ainsi que leurs effets sur le processus national d'adaptation.

7.1. Plan National pour un Développement Durable

En 1992 à Rio, dans le cadre de la *Conférence des Nations unies sur l'environnement et le développement*, le Luxembourg s'est engagé à développer des stratégies tant nationales qu'internationales de développement durable et à les rendre opérationnelles. Trois piliers sont décrits dans le *Plan National pour un Développement Durable* publié en 1999, à savoir « la protection de l'environnement et des ressources naturelles », « l'économie performante et durable » et « l'équité socio-économique et la protection sociale ». Les objectifs suivants de la stratégie de développement durable sont particulièrement pertinents pour la présente stratégie d'adaptation au changement climatique :

Pilier n° 1 : « protection de l'environnement et des ressources naturelles »

- création d'un Réseau National « Biodiversité » couvrant 15 % du territoire national,
- promotion systématique d'une sylviculture proche de la nature et désignation de parcelles forestières en libre évolution sur 5 % de la surface forestière,
- stabilisation de la consommation du sol et préservation de la qualité des sols grâce à un développement urbain peu consommateur de surfaces et grâce à des méthodes de culture respectueuses du sol,
- restauration des fonctions écologiques de tous les cours d'eau grâce au raccordement de toute la population à une station d'épuration moderne et efficace d'ici 2010,
- réduction de 28 % des émissions de gaz à effet de serre dont avant tout du dioxyde de carbone (CO₂) au cours de la période 2008-2012 par rapport à l'année de référence 1990, et ce grâce aux économies d'énergie, à l'efficacité énergétique et à l'utilisation d'énergies renouvelables.

L'état de la mise en œuvre de la stratégie de développement durable a été évalué en l'an 2006 dans le cadre du *Rapport national sur la mise en œuvre de la politique de développement durable* qui a présenté en même temps une série d'indicateurs. Parmi les mesures listées dans un autre rapport publié en 2015 et intitulé « *Un Luxembourg durable pour une meilleure*

qualité de vie » figure un plan efficace pour coordonner les activités d'adaptation aux impacts incontournables du changement climatique. Ces activités se déclinent dans les étapes suivantes, dont seulement quelques-unes font directement référence à l'adaptation mais dont la plupart portent surtout sur la protection du climat :

- élaboration des principes et critères pour la fixation de priorités des exigences d'action,
- création de mécanismes pour pouvoir financer à long terme des programmes d'adaptation,
- proposer une feuille de route pour la procédure détaillée ainsi que pour le développement de la stratégie pour la protection du climat,
- reconnaître et utiliser les avantages d'une protection conséquente du climat également pour la réduction des polluants atmosphériques conventionnels.

Relation avec les mesures de la stratégie d'adaptation :

Sylviculture :

- Dresser une cartographie complète des biotopes forestiers et élaborer un catalogue de mesures pour une sylviculture viable dans le contexte d'un climat en mutation
- Convertir les monocultures en forêts mixtes
- Préserver, améliorer ou restaurer les fonctions du sol forestier, notamment celles de réservoir d'eau et de carbone et de source nutritionnelle

Agriculture :

- Encourager les mesures de protection du sol

Ecosystèmes et biodiversité :

- Prendre des mesures ciblées de soutien aux espèces menacées, notamment sur les surfaces pouvant s'avérer climatiquement appropriées
- Prise en considération du changement climatique dans les stratégies de protection de la nature et les plans de gestion

Le troisième *Plan National pour un Développement Durable* mettra en œuvre les objectifs de durabilité de l'Agenda 2030 des Nations Unies. La stratégie d'adaptation au changement climatique constituera l'une des pierres angulaires de ce PNDD 3, pour la réalisation notamment de l'objectif n° 13 (« Prendre d'urgence des mesures pour lutter contre les changements climatiques et leurs répercussions ») et de l'objectif n° 15 (« Préserver et restaurer les écosystèmes terrestres, en veillant à les exploiter de façon durable, gérer durablement les forêts, lutter contre la désertification, enrayer et inverser le processus de dégradation des terres et mettre fin à l'appauvrissement de la biodiversité »).

7.2. Deuxième Plan d'Action National pour la Protection du Climat

Une politique climatique réussie repose sur les deux piliers suivants : la protection du climat et l'adaptation aux impacts du changement climatique.

C'est dans ce contexte que le Grand-Duché de Luxembourg a présenté, en 2006, son *Premier Plan d'Action National pour la Protection du Climat*, en posant ainsi les jalons d'une protection du climat plus efficace à l'échelon national. Publié en 2013, le *Deuxième Plan d'Action National pour la Protection du Climat* constate que l'on a réussi, au cours des 20 dernières années, à réduire considérablement les émissions par habitant (de 34 tonnes en 1990 à 23 tonnes en 2011 par habitant) – sans considération des gaz à effet de serre émis par les activités d'exploitation du sol et leur évolution, la sylviculture ainsi que l'aviation et la navigation internationales. Les émissions par habitant restent néanmoins les plus élevées de l'Union Européenne.

Afin d'atteindre les objectifs nationaux et internationaux, le *Deuxième Plan d'Action National pour la Protection du Climat* présente une série de mesures prioritairement orientées vers la période 2013-2020 et visant à réduire sensiblement la consommation intérieure ainsi que les émissions produites dans le pays même. Sont considérés comme potentiels les plus importants le trafic intérieur, les ménages/bâtiments, l'industrie/énergie et les agrocarburants.

En ce qui concerne les interfaces avec la thématique de l'adaptation au changement climatique, il est fait référence sous l'item 2.7 du programme de mesures, à la *Stratégie nationale d'adaptation au changement climatique* parue en 2011.

Relation avec les mesures de la stratégie d'adaptation :

Énergie :

- Mettre en œuvre des mesures de sensibilisation dans les volets de l'économie d'énergie et du déploiement d'énergie solaire décentralisée
- Développer des centrales biomasse en tenant compte des aspects de durabilité

A la suite de l'Accord de Paris sur le climat ainsi que du règlement de l'Union européenne relatif aux réductions annuelles contraignantes des émissions de gaz à effet de serre de 2021 à 2030, le gouvernement luxembourgeois a décidé de présenter un *troisième Plan National pour la Protection du Climat*. Outre l'adaptation au changement climatique et la réorientation des flux de capitaux mondiaux, la diminution des émissions de gaz à effet de serre constitue le troisième objectif principal de l'Accord sur le climat adopté en décembre 2015 sous

présidence luxembourgeoise. Il a été convenu de limiter le réchauffement planétaire à un maximum de 2 °C et si possible même à 1,5 °C par rapport à l'ère préindustrielle. L'atteinte de cet objectif présuppose ce que l'on appelle la « neutralité climatique » d'ici la deuxième moitié du siècle présent au plus tard. Actuellement (état 2016), les émissions de gaz à effet de serre du Luxembourg (hormis les secteurs couverts par le système d'échange de quotas d'émission) sont de l'ordre de 8,5 millions de tonnes, c'est-à-dire inférieures de 16 % à celles de l'année de référence 2005. Le secteur des transports en est le principal responsable à raison de deux tiers. Réduire les émissions de 40 % d'ici 2030 par rapport à 2005 signifie que les émissions par habitant devront être divisées par deux au courant des 12 à 15 ans à venir. Le *Troisième Plan National pour la Protection du Climat* tracera également des perspectives à long terme (2050).

7.3. Programme de mesures « gestion des inondations »

La directive du Parlement européen et du Conseil sur la gestion des risques d'inondation (« DI », 2007/60/CE) est entrée en vigueur le 23 octobre 2007. En établissant cette directive, l'Union européenne a mis en place un cadre de gestion des risques d'inondation dans l'objectif de réduire les conséquences négatives associées aux inondations. Aux termes de son article 7, les États membres sont tenus d'établir des plans de gestion des risques d'inondation pour les zones exposées à ces risques.

La directive prévoit les étapes de planification suivantes :

1. évaluation préliminaire des risques : évaluer les risques d'inondation et sélectionner, sur cette base, les zones à risque potentiel important d'inondation.
2. établissement de cartes des zones inondables et de cartes des risques d'inondation : de telles cartes sont à établir pour l'ensemble des zones à risques.
3. plan de gestion des risques d'inondation : avec l'appui du public, des objectifs et mesures d'une gestion intégrée des inondations sont planifiés et mises en œuvre sur la base de l'évaluation préliminaire des risques et sur la base des cartes des zones inondables et des risques d'inondation. Le plan du Luxembourg a été adopté en décembre 2015.

Au regard des risques d'inondation, la directive relative à la gestion des risques d'inondation demande par ailleurs aux États membres de l'UE de se pencher sur les futures conditions climatiques modifiées par le changement climatique. À l'aide du modèle de bilan hydrologique (MBH) LARSIM, des simulations du régime hydrologique du bassin de la Moselle et de la Sarre ont été réalisées au Luxembourg. L'objectif étant d'étudier les impacts potentiels du changement climatique sur les cours d'eau du Luxembourg. Les résultats de cette étude sont à prendre en considération dans la planification des mesures dans le cadre du deuxième plan.

Relation avec les mesures de la stratégie d'adaptation :

Construction et logement :

- Adapter les normes de construction aux conditions climatiques plus critiques et aux modifications annoncées par les projections
- Élaborer un guide sur la « construction adaptée au changement climatique »

Énergie :

- Vérifier et adapter les infrastructures d'énergie existantes quant à leur vulnérabilité aux événements extrêmes

Infrastructures :

- Identifier les infrastructures critiques et engager des mesures de réduction de la vulnérabilité
- Prendre en compte le changement climatique dans la conception de nouvelles infrastructures

Gestion des crises et des accidents majeurs :

- Faire évoluer les services d'urgence et la direction des interventions pour les adapter aux conditions climatiques changeantes
- Réaliser un suivi en continu des processus et événements de risques naturels en continuant à développer et à améliorer les méthodes et techniques d'identification de nouveaux processus naturels dangereux
- Intégrer les aspects du changement climatique dans la planification des systèmes d'évacuation des eaux de pluie et des eaux usées et des réseaux d'eau potable
- Engager des mesures de protection robustes et adaptables

Aménagement du territoire :

- Intensifier les activités de recherche eu égard aux événements météorologiques extrêmes et identifier les implications en résultant pour les différents secteurs agricoles

Espaces urbains :

- Vérifier les infrastructures urbaines eu égard à l'augmentation des événements météorologiques extrêmes et élaborer des schémas d'adaptation des constructions

Régime et gestion de l'eau :

- Prendre en compte les événements pluvieux intenses dans le deuxième Plan de gestion des risques d'inondation
- Mesures d'ombragement au moyen de bandes riveraines

7.4. Plan de gestion du bassin hydrographique

La directive 2000/60/CE du Parlement européen et du Conseil datée du 23 octobre 2000 et établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau, dite « directive-cadre sur l'eau » (DCE) est entrée en vigueur le 22 décembre 2000. Pour la première fois en Europe, il est ainsi créée une base commune et uniforme de gestion des eaux. Cette directive introduit l'objectif écologique global du « bon état » que toutes les eaux de l'Union européenne devront atteindre d'ici fin 2015.

L'article 11 de la DCE prescrit aux États membres d'élaborer des programmes de mesures pour leurs districts hydrographiques ou pour les parties d'un district hydrographique international situées sur leur territoire. Ces programmes de mesures doivent être mis en œuvre par les États membres lorsqu'il ressort de l'analyse de l'état des masses d'eau que ces dernières ne respectent pas les objectifs environnementaux définis par la DCE, ou pour assurer le maintien du bon état.

Le Luxembourg a publié en 2015 le deuxième plan de gestion de bassin requis par la DCE, y compris le programme de mesures correspondant ; l'objectif de ce plan est d'améliorer la situation et l'état des milieux aquatiques du Luxembourg. Le programme de mesures luxembourgeois se décline en trois champs d'action principaux : la gestion des eaux urbaines, l'agriculture et l'hydromorphologie. Il comprend un grand nombre de sous-mesures.

Pour qu'il réponde aux exigences découlant du changement climatique, ce programme de mesures a en partie déjà fait l'objet d'un check-up climatique. Ce dernier est surtout destiné à identifier les mesures a) préjudiciables au climat ou b) dont l'efficacité se réduit ou se perd avec la modification des conditions climatiques. Dans le domaine de l'hydromorphologie, les résultats obtenus pour le Luxembourg montrent que de nombreuses mesures contribuent à l'adaptation au changement climatique (p. ex. en atténuant les effets d'événements extrêmes). Dans le domaine de la gestion des eaux urbaines, il s'est avéré que les aspects du changement climatique devaient davantage être pris en compte dans le dimensionnement de nouveaux ouvrages. Comme les mesures agricoles ne relèvent pas de la compétence de l'Administration de la gestion de l'eau, elles n'ont jusqu'à présent pas été soumises à un contrôle (Ministère du Développement durable et des Infrastructures, 2015).

Relation avec les mesures de la stratégie d'adaptation :

Ecosystèmes et biodiversité :

- Prise en considération du changement climatique dans les stratégies de protection de la nature et les plans de gestion

Régime et gestion de l'eau :

- Mesures d'ombragement au moyen de bandes riveraines

7.5. Deuxième Plan National concernant la Protection de la Nature

Le deuxième Plan National concernant la Protection de la Nature¹¹ a été approuvé le 13 janvier 2017 par le Gouvernement en Conseil ; il définit la stratégie à suivre au cours des cinq prochaines années en matière de protection de la nature.¹² Les mesures d'adaptation de la flore et de la faune aux modifications climatiques constituent l'un des points forts de ce plan.

Comptent par exemple parmi les mesures pertinentes pour la stratégie d'adaptation au changement climatique les mesures suivantes :

- Restauration des écosystèmes et des services écosystémiques : cette mesure vise à restaurer les écosystèmes de même que leur capacité d'adaptation aux modifications climatiques.
- Restauration de la connectivité écologique : la mise en place d'un réseau de biotopes améliorera les échanges génétiques inter-espèces entre les habitats et permettra ainsi aux différentes espèces floristiques et faunistiques de s'adapter au changement climatique.
- Projets de démonstration en matière de sylviculture et d'agriculture L'élaboration d'un concept agroforestier doit mettre en évidence des possibilités d'adaptation de l'agriculture aux conditions climatiques changeantes. Des entreprises de démonstration doivent montrer diverses possibilités de travail agricole.

¹¹

<http://environnement.public.lu/content/dam/environnement/documents/natur/general/pnnp2.pdf>

¹² <http://data.legilux.public.lu/file/eli-etat-leg-dgc-2017-01-13-a194-jo-fr-pdf.pdf>

8. MISE EN ŒUVRE ET SUITES À DONNER

Au cours des prochaines années et décennies, les répercussions du changement climatique vont être de plus en plus visibles et le Luxembourg devra s'y adapter. La présente stratégie et le présent plan d'action offrent un cadre d'adaptation approprié. Ce document repose sur l'état des connaissances actuel sur le changement climatique et sur ses impacts. Pour assurer une bonne mise en œuvre des mesures d'adaptation, celles-ci ont été élaborées en coopération avec tous les acteurs concernés.

Il reviendra dans les années à venir aux différentes politiques sectorielles de les concrétiser et de les réaliser. Le processus d'adaptation au changement climatique doit démarrer dans l'immédiat mais il s'étendra sur une période sensiblement plus longue. L'efficacité de cette adaptation dépendra du développement constant des connaissances ainsi que des expériences acquises dans la mise en œuvre des mesures. Des connaissances scientifiques fiables et des scénarios climatiques à haute résolution sont indispensables pour pouvoir évaluer de manière réaliste les effets du changement climatique et les risques climatiques. Il est par conséquent important de les actualiser et de les compléter régulièrement. Plus les scénarios climatiques sont bons, plus les estimations des effets et les analyses des risques et des opportunités sont fiables.

Les mesures doivent donc être mises en œuvre entre 2018 et 2023 dans un premier temps. La stratégie et le plan d'action seront ensuite soumis à évaluation tous les cinq ans et améliorés et perfectionnés si de nouvelles connaissances scientifiques ou d'expériences concrètes dans l'adaptation sont disponibles dans l'intervalle.

9. GLOSSAIRE

Adaptation

L'adaptation au changement climatique désigne le processus consistant à ajuster et orienter des systèmes naturels et sociaux en fonction des changements climatiques réels ou attendus et de leurs conséquences, afin d'en atténuer les impacts négatifs et d'en exploiter les opportunités. Source : <http://www.klima-und-raum.org/>

Stratégies d'adaptation

Les stratégies d'adaptation au changement climatique sont des approches ou modes de comportement s'inscrivant dans le long terme et intégrant des outils et mesures d'application visant à atténuer les impacts négatifs des changements climatiques réels ou attendus et à en exploiter les opportunités. Source : <http://www.klima-und-raum.org/>

Capacité d'adaptation (adaptabilité)

Dans le contexte du changement climatique, la capacité d'adaptation désigne la mesure dans laquelle des personnes et des systèmes naturels ou sociaux ont la capacité d'atténuer les impacts négatifs des changements climatiques réels ou attendus et d'en exploiter les opportunités. Source : <http://www.klima-und-raum.org/>

Exposition

On entend par exposition la mesure dans laquelle des personnes, des biens et des systèmes sont exposés aux impacts du changement climatique et à ses conséquences dans le temps et dans l'espace. Source : <http://www.klima-und-raum.org/>

Climat

Le climat est le produit, dans l'espace et dans le temps, de tous les phénomènes météorologiques survenant dans l'atmosphère à l'échelle des processus agissant sur ces phénomènes. Source : <http://www.klima-und-raum.org/>

Modèle climatique

Un modèle climatique est un modèle numérique ou statistique intégrant une représentation tridimensionnelle de l'atmosphère et décrivant les processus physico-chimiques qui s'y déroulent. Il prend en compte les interactions entre l'atmosphère et la surface terrestre. Source : <http://www.klima-und-raum.org/>

Projection climatique

On entend par projection climatique l'évolution potentielle future d'un ou de plusieurs paramètres climatiques (variables climatiques) pouvant être calculée à partir de scénarios et à l'aide d'un modèle climatique. Source : <http://www.klima-und-raum.org/>

Protection du climat (mitigation)

Dans le contexte du changement climatique, on entend par là tous les efforts entrepris pour protéger le climat planétaire, c'est-à-dire pour éviter dans la plus grande mesure possible le changement climatique. Le terme « mitigation » est également souvent utilisé dans ce contexte. Source : <http://www.klima-und-raum.org/>

Changement climatique

La notion de changement climatique ou de modification anthropogène du climat se réfère en premier lieu aux récentes modifications du climat planétaire et régional induites par l'action humaine. D'une manière générale, les modifications du climat englobent les évolutions climatiques à long terme, qu'elles soient d'origine naturelle ou humaine. Source : <http://www.klima-und-raum.org/>

Impact climatique, conséquences du changement climatique

Un impact climatique est le résultat de relations multiples de cause à effet modifiant certains paramètres ou variables climatiques. Ces modifications font alors pression sur un système sensible au climat et peuvent avoir des répercussions économiques, écologiques et sociales sur le système touché en fonction du degré d'exposition de celui-ci. Source : <http://www.klima-und-raum.org/>

Stratégie dite « no regret » (en français : « stratégie sans regret »)

Les stratégies « no regret » reposent sur des approches et des modes de comportement qui sont économiquement, écologiquement et socialement utiles, indépendamment du changement climatique. Elles sont adoptées à titre préventif pour éviter ou mitiger les répercussions négatives du changement climatique. Elles restent utiles pour la société même si la cause première de la stratégie adoptée (ici : l'adaptation au changement climatique) ne se concrétise pas dans la mesure attendue. Source : <http://www.klima-und-raum.org/>

Résilience

En écologie, la résilience désigne entre autres l'aptitude d'écosystèmes à absorber les chocs et les perturbations et à préserver leurs fonctions centrales même pendant les phases d'impacts stressants (Holling 1973 ; Folke 2006). Source : <http://www.klima-und-raum.org/>

Risque

Le risque peut être compris comme la probabilité de survenance d'un danger ayant des conséquences négatives. Par ailleurs, on entend par risque le produit de l'interaction entre un danger (p. ex. un processus naturel tel qu'un épisode de pluie intense) et la vulnérabilité sociale. Source : <http://www.klima-und-raum.org/>

Scénarios

Les scénarios sont des descriptions cohérentes, homogènes et plausibles de situations futures potentielles et de leur genèse et évolution. Ils reposent sur des hypothèses. Ces descriptions peuvent être qualitatives et quantitatives. Source : <http://www.klima-und-raum.org/>

Gaz à effet de serre

Les gaz à effet de serre sont des composants gazeux de l'atmosphère (d'origine soit naturelle soit humaine) qui absorbent et renvoient – dans des plages de longueur d'onde spécifiques à l'intérieur du spectre du rayonnement infrarouge thermique – le rayonnement émis par la surface terrestre, par l'atmosphère elle-même et par les nuages. Source : <http://www.klima-und-raum.org/>

Incertitude

La notion d'incertitude exprime la mesure dans laquelle une valeur, un état ou un processus est inconnu (GIEC 2012 ; p. ex. *l'état futur du système climatique, l'état futur de la société*). Source : <http://www.klima-und-raum.org/>

Vulnérabilité

La vulnérabilité englobe les structures et processus physiques, sociaux, économiques, environnementaux et institutionnels qui conditionnent la fragilité d'un système ou d'un objet ainsi que ses capacités à maîtriser et à s'adapter aux dangers – par exemple ceux résultant des effets du changement climatique. Source : <http://www.klima-und-raum.org/>

10. INDEX DES TABLEAUX

<i>Tableau 1 :</i>	Impacts climatiques prioritaires pour le Luxembourg	6
<i>Tableau 2 :</i>	Liste des mesures d'adaptation au changement climatique	7
<i>Tableau 3 :</i>	Analyse tendancielle linéaire des températures saisonnières et annuelles de l'air pour les deux périodes de référence. Tendence par décade. Les valeurs statistiquement significatives (test de Mann-Kendall) sont marquées en rouge	15
<i>Tableau 4 :</i>	Analyse tendancielle linéaire des précipitations saisonnières et annuelles pour les deux périodes de référence. Tendence par décade. Les valeurs statistiquement significatives (test de Mann-Kendall) sont marquées en rouge	19
<i>Tableau 5 :</i>	Impacts du changement climatique sur la biosphère	31
<i>Tableau 6 :</i>	Impacts du changement climatique sur la pédosphère	40
<i>Tableau 7 :</i>	Impacts du changement climatique sur l'hydrosphère	45
<i>Tableau 8 :</i>	Description des répercussions du changement climatique sur le Luxembourg	52
<i>Tableau 9 :</i>	Mesures d'adaptation fixées au titre de la directive « Inondation »	123
<i>Tableau 10 :</i>	Interfaces impacts climatiques secteur « Construction et logement »	134
<i>Tableau 11 :</i>	Interfaces impacts climatiques secteur « Énergie »	135
<i>Tableau 12 :</i>	Interfaces impacts climatiques secteur « Sylviculture »	136
<i>Tableau 13 :</i>	Interfaces impacts climatiques secteur « Infrastructures »	137
<i>Tableau 14 :</i>	Interfaces impacts climatiques secteur « Gestion des crises et des accidents majeurs »	138
<i>Tableau 15 :</i>	Interfaces impacts climatiques secteur « Aménagement du territoire »	139
<i>Tableau 16 :</i>	Interfaces impacts climatiques secteur « Agriculture, y compris santé des animaux et des végétaux »	140
<i>Tableau 17 :</i>	Interfaces impacts climatiques secteur « Santé humaine »	141
<i>Tableau 18 :</i>	Interfaces impacts climatiques secteur « Écosystèmes et biodiversité »	142
<i>Tableau 19 :</i>	Interfaces impacts climatiques secteur « Tourisme »	143
<i>Tableau 20 :</i>	Interfaces impacts climatiques secteur « Espaces urbains »	143
<i>Tableau 21 :</i>	Interfaces impacts climatiques secteur « Régime hydrologique et gestion de l'eau »	144
<i>Tableau 22 :</i>	Interfaces impacts climatiques secteur « Activité économique »	145

11. INDEX DES FIGURES

<i>Figure 1 :</i>	Moyennes annuelles de la température de l'air dans la station de Findel (ligne bleue), moyenne mobile sur 7 ans (ligne rouge) et sur les deux périodes de référence 1961-1990 (8,3 °C) et 1981-2010 (9,3 °C) ; période d'évaluation : de 01/1947 à 12/2016. Source : non publiée, données brutes de MeteoLux	13
<i>Figure 2 :</i>	Anomalies annuelles de la température de l'air dans la station de Findel sur la période de référence 1961-1990 (8,3 °C) ; période d'évaluation : de 01/1947 à 12/2016. Source : non publiée, données brutes de MeteoLux.....	13
<i>Figure 3 :</i>	Moyennes de la température de l'air des saisons météorologiques (hiver = de décembre à février, printemps = de mars à mai, été = de juin à août, automne = de septembre à novembre) pour la station de Findel (ligne bleue), moyenne mobile sur 7 ans (ligne rouge) et moyennes (lignes noires) sur les deux périodes de référence 1961-1990 et 1981-2010 ; période d'évaluation : de 01/1947 à 12/2016. Source : non publiée, données brutes de MeteoLux	14
<i>Figure 4 :</i>	Moyennes annuelles de la température de l'air dans les stations ASTA d'Asselborn, de Grevenmacher, de Clemency et de Remich (ligne bleue), moyenne mobile sur 7 ans (ligne rouge) et moyenne de la période de référence 1981-2010 ; source : données brutes ASTA	16
<i>Figure 5 :</i>	Sommes de précipitations annuelles dans la station de Findel et sommes moyennes des précipitations annuelles sur les deux périodes de référence 1961-1990 (875 mm) et 1981-2010 (897 mm) ; période d'évaluation : de 01/1947 à 12/2016. Source : non publiée, données brutes de MeteoLux.....	17
<i>Figure 6 :</i>	Anomalies annuelles des précipitations dans la station de Findel sur la période de référence 1961-1990 (875 mm) ; période d'évaluation : de 01/1947 à 12/2016. Source : non publiée, données brutes de MeteoLux.....	17
<i>Figure 7 :</i>	Moyennes des précipitations des saisons météorologiques (hiver = de décembre à février, printemps = de mars à mai, été = de juin à août, automne = de septembre à novembre) dans la station de Findel (colonnes grises), moyenne mobile sur 7 ans (ligne rouge) et moyennes (lignes noires) sur les deux périodes de référence 1961-1990 et 1981-2010 ; période d'évaluation : de 01/1947 à 12/2016. Source : non publiée, données brutes de MeteoLux	18
<i>Figure 8 :</i>	Sommes des précipitations annuelles dans les stations ASTA en bleu et moyennes des périodes de référence en rouge. Source : données homogénéisées, ASTA	19
<i>Figure 9 :</i>	Nombre de jours de l'année avec des précipitations intenses dans la station de Findel/aéroport ; période 1947-2016. La valeur seuil est déduite de la période de référence 1981-2010, P95 = 17,8 mm.....	20
<i>Figure 10 :</i>	Nombre de jours de l'année avec des précipitations intenses dans la station de Findel/aéroport pendant les saisons météorologiques 'été' (à gauche) et 'hiver' (à droite) ; période 1947-2016. La valeur seuil est déduite de la période de référence 1981-2010, P95 'été' = 21,8 mm et P95 'hiver' = 16,1 mm.....	20
<i>Figure 11 :</i>	Nombre de jours de l'année avec des précipitations intenses dans différentes stations ASTA ; valeur seuil déduite de la période de référence 1981-2010, valeurs seuils pour les jours avec précipitations intenses : Asselborn = 14,6 mm, Grevenmacher = 15,7 mm, Clemency = 18,6 mm, Remich = 15,7 mm ; source : données brutes ASTA	22
<i>Figure 12 :</i>	Nombre absolu de jours d'événements sélectionnés sur la base de données mesurées dans la station de Findel (à gauche : période 1947-2000) et sur la base de projections climatiques réalisées avec le modèle COSMO-CLM. Source : Junk et al. 2013.....	23

<i>Figure 13 :</i>	Différents domaines de la modélisation à haute résolution effectuée avec le modèle COSMO-CLM. Domaine cible Luxembourg, 220 x 220 points de grille avec résolution horizontale d'env. 1,3 km. Source : Junk et al. 2013	24
<i>Figure 14 :</i>	Évolution de la température de l'air au Luxembourg calculée à partir d'un ensemble de projections climatiques ; période 1961-2098. Source : Junk et al. 2012 (révisé)	25
<i>Figure 15 :</i>	Évolution des précipitations au Luxembourg calculée à partir d'un ensemble de projections climatiques ; période 1961-2098. Source : non publiée	26
<i>Figure 16 :</i>	Distribution de fréquence absolue des valeurs journalières de température de l'air et de précipitations dérivées de 6 projections climatiques régionales pour le Luxembourg pour la période de référence (1961-1990), le futur proche (2021-2050) et le futur éloigné (2069-2098). Source : Goergen et al. (2013)	27
<i>Figure 17 :</i>	Distribution de fréquence absolue des jours sans précipitations calculée à partir de 6 membres d'Ensemble pour la période de référence (a), le futur proche (b) et le futur éloigné (c). Source : non publiée.....	27

12. BIBLIOGRAPHIE

Administration de la nature et des forêts (2017) : Leitfaden für forstliche Bewirtschaftungsmaßnahmen von geschützten Waldbiotopen, Luxemburg, Luxembourg.

APCC (2014) : Österreichischer Sachstandsbericht Klimawandel 2014 (AAR14). Austrian Panel on Climate Change (APCC), Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Wien, Österreich.

Baguis, P., Ntegeka, V., Willems, P. & Roulin, E. (2009) : Extension of CCI-HYDR climate change scenarios for INBO, Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek (INBO) & Belgian Science Policy, SSD Research Programme, Technical report by K.u.Leuven Hydraulics Section & Royal Meteorological Institute of Belgium, January 2009.

Belgian Science Policy : Satellite Earth Observation – Educational initiatives of Belgian Science Policy. <http://eoedu.belspo.be/en/profs/vgt.asp?section=1>

DWD (2016) : Nationaler Klimareport (2016) : 2^e édition corrigée, Deutscher Wetterdienst, Offenbach am Main, Allemagne.

EC (2017) : Commission Staff Working Document - The EU Environmental Implementation Review Country Report – LUXEMBOURG. Bruxelles, Belgique.

EC (2013) : Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and social Committee of the Regions - An EU Strategy on adaptation to climate change. Bruxelles, Belgique.

CE (2005) : Soil Atlas of Europe, European Soil Bureau Network. Office for Official Publications of the European Communities, Luxemburg, Luxemburg.

EEA (2014) : Greenhouse gas data viewer. <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/data-viewers/greenhouse-gases-viewer>

EEA : www.eea.europa.eu/data-and-maps

Eickermann, M., Junk, J., Ulber, B., Reinhardt, A., Görgen, K., Hoffmann, L. & Beyer, M. (2012) : Effekte des regionalen Klimawandels auf die Zuwanderung von von Ceutorhynchus napi Gyll. in Rapsbestände. 58. Deutsche Pflanzenschutztagung "Pflanzenschutz – alternativlos", 10 au 14 septembre 2012, Braunschweig, Allemagne.

Fenner, D., Mücke, H.G. & Scherer, D. (2015) : Innerstädtische Lufttemperatur als Indikator gesundheitlicher Belastungen in Großstädten am Beispiel Berlins. UMID : Umwelt und Mensch – Informationsdienst.

Forest Europe (2015) : Pan-European Indicators for Sustainable Forest Management.

Gagnon-Lebrun, F. & Agrawala, S. (2006) : Progress on Adaptation to Climate Change in Developed Countries: An Analysis of Broad Trends, OECD, Paris, France.

Gellens, D. & Roulin, F. (1998) : Streamflow response of Belgian catchments to IPCC climate change scenarios. Journal of Hydrology 210, p. 242-258.

Görgen et al. (2013) : ENSEMBLES-based assessment of regional climate effects in Luxembourg and their impact on vegetation. Clima Change 119 : 761. doi:10.1007/s10584-013-0756-x.

Görge, K., Beersma, J., Brahmer, G., Buiteveld, H., Carambia, M., de Keizer, O., Krahe, P., Nilson, E., Lammersen, R., Perrin, C. & Volken, D. (2010) : Assessment of Climate Change Impacts on Discharge in the Rhine River Basin : Results of the RheinBlick2050 Project, CHR report, I-23, 229 pp., Lelystad, Pays-Bas.

IEA (2014) : Energie Policies of IEA Countries. Luxembourg – Review 2014. International Energy Agency, Paris, France.

d'Ieteren, E., Hecq, W., De Sutter, R. & Le Roy, D. (2004) : Les effets du changement climatique en Belgique : Impacts potentiels sur les bassins hydrographiques et la côte maritime, phases I et II (recommandations pour une gestion durable). Convention CEESE-ECOLAS-IRGT/KINT, Décembre 2004, 134 p.

Inspection sanitaire (2011) : Implication du changement climatique sur la santé publique au Luxembourg. Luxembourg, Luxembourg.

International Commission for the Protection of the Rhine (2015) : Strategy for the IRBD Rhine for adapting to climate change. Coblenz, Allemagne.

Junk, J., Görge, K., Eickermann, M., Sinigoi, P. & Hoffmann, L. (2011) : Possible climate change impacts on agriculture and viticulture in Luxembourg – the benefit of ensemble-based regional climate change projections EMS Annual Meeting Abstracts Vol. 8, EMS2011-PREVIEW, 2011 11th EMS / 10th ECAM.

Junk, J., M. Eickermann, K. Görge, M. Beyer and L. Hoffmann (2012). "Ensemble-based analysis of regional climate change effects on the cabbage stem weevil (*Ceutorhynchus pallidactylus* (Mrsh.)) in winter oilseed rape (*Brassica napus* L.)." *The Journal of Agricultural Science* 150(2) : 191-202.

Junk, J., Matzarakis, A. Ferrone, A. & Krein, A. (2013) : Evidence of past and future changes in health-related meteorological variables across Luxembourg. *Air Qual Atmos Health*. Springer. DOI 10.1007/s11869-013-0229-4, Springer.

Junk, J., M. Jonas and M. Eickermann (2014). Assessing meteorological key factors on crop invasion by pollen beetle – past observations and future perspectives. 8. BIOMET, Dresden, Germany, Technische Universität Dresden.

Junk, J., M. Jonas and M. Eickermann (2015a). « Assessing meteorological key factors influencing crop invasion by pollen beetle (*Meligethes aeneus* F.) - past observations and future perspectives. » *Meteorologische Zeitschrift* : 8.

Junk, J., B. Ulber, S. Vidal and M. Eickermann (2015b). « Assessing climate change impacts on the rape stem weevil, *Ceutorhynchus napi* Gyll., based on bias- and non-bias-corrected regional climate change projections. » *Int J Biometeorol* 59(11) : 1597-1605.

Junk, J., Kouadio, L., Delfosse, P. & El Jarroudi, M. (2015c) : Effects of regional climate change on brown rust disease in winter wheat. *Climatic Change*. 135 : 439, Springer. DOI 10.1007/s10584-015-1587-8.

Junk, J., L. Kouadio, P. Delfosse and M. El Jarroudi (2016). « Effects of regional climate change on brown rust disease in winter wheat. » *Climatic Change* 135(3) : 439-451.

Le gouvernement du Grand-Duché de Luxembourg (2017) : Leitfaden für forstliche Bewirtschaftungsmaßnahmen von geschützten Waldbiotopen, Luxembourg, Luxembourg.

Le gouvernement du Grand-Duché de Luxembourg (2015) : Plan de gestion pour les parties des districts hydrographiques internationaux Rhin et Meuse situées sur territoire luxembourgeois (2015-2021). Luxembourg, Luxembourg.

Le gouvernement du Grand-Duché de Luxembourg, Ministère de l'Environnement (2006) : Changement climatique. Agir pour un défi majeur ! – 1er Plan d'action en vue de la réduction des émissions de CO2 (1. Nationaler Aktionsplan Klimaschutz). Luxembourg, Luxembourg.

Le gouvernement du Grand-Duché de Luxembourg (2013) : Deuxième Plan d'Action National pour la Protection du Climat. Luxembourg, Luxembourg.

Le gouvernement du Grand-Duché de Luxembourg (2010) : Un Luxembourg durable pour une meilleure qualité de vie. Luxembourg, Luxembourg.

Matzarakis, A., Rammelberg, J. & Junk, J. (2013) : Assessment of thermal bioclimate and tourism climate potential for central Europe—the example of Luxembourg. *Theor Appl Climatol*, 114:193–202.

Maixner, M. (2014) : Klimabedingte neue Risiken durch Schadorganismen im Weinbau. Tiré de : Lozán, J.L., Grassl, H., Karbe, L. & G. Jendritzky (éditeurs). *Warnsignal Klima: Gefahren für Pflanzen, Tiere und Menschen*. 2^e édition. Publication électronique. (Chap.4.10) - www.warnsignale.uni-hamburg.de.

McCallum, S., Dworak, T., Prutsch, A., Kent, N., Mysiak, J., Bosello, F., Klostermann, J., Dlugolecki, A., Williams, E., König, M., Leitner, M., Miller, K., Harley, M., Smithers, R., Berglund, M., Glas, N., Romanovska, L., van de Sandt, K., Bachschmidt, R., Völler, S. & Horrocks, L. (2013) : Support to the development of the EU Strategy for Adaptation to Climate Change : Background report to the Impact Assessment, Part I – Problem definition, policy context and assessment of policy options. Environment Agency Austria, Vienna, Austria.

Ministerium für Umwelt, Forst und Verbraucherschutz Rheinland-Pfalz (2007) : Klimabericht Rheinland-Pfalz. Mayence, Allemagne.

Ministerium für Inneres und Sport des Saarlandes (2012) : Klimawandel und Raumentwicklung im Saarland: Abschlussbericht des Saarländischen Interreg IV B-Projektes „C-CHANGE – CHANGING CLIMATE, CHANGING LIVES“, Sarrebruck, Allemagne.

Ministerium für Umwelt Saarland (2008) : Saarländisches Klimaschutzkonzept 2008 - 2013 Das Klima schützen – die Klimafolgen bewältigen. Sarrebruck, Allemagne.

Ministère de l'Environnement (2017) : Plan national protection nature 2017 - 2021. Luxembourg, Luxembourg.

Ministère du Développement durable et des Infrastructures (2011a) : Stratégie nationale d'adaptation au changement climatique. Luxembourg, Luxembourg.

Ministère du Développement durable et des Infrastructures (2011b) : Plan national pour un développement durable. Deutsche Kurzfassung. Luxembourg, Luxembourg.

Ministère du Développement durable et des Infrastructures (2012) : Anpassung an den Klimawandel – Strategien für die Raumplanung in Luxemburg. Luxembourg, Luxembourg.

Ministère du Développement durable et des Infrastructures (2013) : Plan national pour la protection de la nature Plans d'actions habitats 2013. Luxembourg, Luxembourg.

Ministère du Développement durable et des Infrastructures (2015) : Plan de gestion des risques d'inondation pour le Grand-Duché de Luxembourg. Luxembourg, Luxembourg.

Ministère de l'Agriculture, de la Viticulture et de la Protection des consommateurs (2016) : L'agriculture luxembourgeoise en chiffres. Luxembourg, Luxembourg.

Ministère du Développement durable et des Infrastructures (2016) : COMMUNIQUE DE PRESSE Mieux valoriser et protéger nos forêts. Luxembourg, Luxembourg.

Molitor, D., Caffarra, A., Sinigoj, P., Pertot, I., Hoffmann, L. & Junk, J. (2014a) : Late frost damage risk for viticulture under future climate conditions: a case study for the Luxembourgish winegrowing region. *Australian Journal of Grape and Wine Research* 20, 160–168.

Molitor, D., Ferrone, A. & Junk, J. (2014b) : Einfluss des Klimas auf den Weinbau im oberen Moseltal. *Weinbau* 11, 26-28.

Mücke, H.G. (2014) : Gesundheitliche Auswirkungen von atmosphärisch beeinflussten Luftverunreinigungen. Tiré de : Lozán, J. L., Grassl, H., Karbe, L. & Jendritzky, G. (éditeurs): Warnsignal Klima: Gefahren für Pflanzen, Tiere und Menschen. 2^e édition.

National Climate Commission (2010) : « Belgian national climate change adaptation strategy », National Climate Commission, 2010 Brussels, Belgium.

Ntegeka, V., Willems, P., Baguis, P. & Roulin, E. (2009) : Climate change impact on hydrological Extremes along rivers and urban drainage systems in Belgium. Leuven : K.U.Leuven—Hydraulics Section & Royal Meteorological Institute of Belgium.

Observatoire national sur les effets du réchauffement climatique (2007) : Stratégie nationale d'adaptation au changement climatique. Paris, France.

OECD (2013) : Water and Climate Change Adaptation : Policies to Navigate Uncharted Waters, OECD Studies on Water, OECD Publishing.

Panos, P., Borrelli, P., Poesen, J., Ballabio, C., Lugato, E., Meuburger, K., Montanarella, L. & Alewell, C. (2015) : The new assessment of soil loss by water erosion in Europe. *Environmental Science & Policy*, 54, pp. 438 – 447.

The TIR Consulting Group LLC (2016) : 3rd Industrial Revolution Strategy, Luxembourg, Luxembourg.

Trnka, M., Kersebaum, K.C., Eitzinger, J., Hayes, M., Hlavinka, P., Svoboda, M., Dubrovský, M., Semerádová, D., Wardlaw, B.D., Pokorný, E., Možný, M., Wilhite, D.A. & Žalud, Z. (2013) « Consequences of climate change for the soil climate in Central Europe and the central plains of the United States ». Drought Mitigation Center Faculty Publications. Paper 16. University of Nebraska – Lincoln.

Umweltbundesamt (2015) : Monitoringbericht 2015 zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel. Bericht der interministeriellen Arbeitsgruppe Anpassungsstrategie der Bundesregierung. Dessau-Roßlau, Allemagne.

UNFCCC (2015) : Paris Agreement. Paris, France.